

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

MERELLISEN TAISTELUTILAN MALLINNUS

Diplomityö

Kapteeniluutnantti
Konsta Teittinen

Yleisesikuntaupseerikurssi 57
Merisotalinja

Heinäkuu 2015

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Yleisesikuntaupseerikurssi 57	Linja Merisotalinja
Tekijä Kapteeniluutnantti Konsta Teittinen	
Diplomityön nimi Merellisen taistelutilan mallinnus	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Maanpuolustuskorkeakoulun kirjasto
Aika Heinäkuu 2015	Tekstisivuja 87 Liitesivuja 6
<p>TIIVISTELMÄ</p> <p>Diplomityön tarkoituksena on tuottaa tutkittua tietoa Merivoimien mallinnuspalveluiden kehittämiseksi. Tutkimuksen päämääränä oli laatia mallikuvaus Merellisen taistelutilan mallista. Merellisen taistelutilan malli on tietokoneella suoritettava mallisovellus, jota käytetään simuloimaan taistelua merellisissä olosuhteissa. Merellisen taistelutilan malli laadittiin Merivoimien operatiivisen suunnittelun tarpeisiin.</p> <p>Diplomityö on jatkoa Esiupseerikurssi 65:lla tehdylle <i>Merellisen taistelutilan mallin käyttäjävaatimukset</i> -tutkimustyölle.</p> <p>Tutkimus on luonteeltaan kvalitatiivinen ja perustuu empiiriseen tutkimukseen. Tutkimuksen lähestymistapa on deskriptiivinen. Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuustutkimusta, käsiteanalyysia, kyselytutkimusta, perehtymistä sekä suunnittelua.</p> <p>Diplomityössä tutkittiin mallintamisen ja simuloinnin teoriaa, erilaisia menetelmiä asioiden ja ilmiöiden mallintamiseksi, taistelutilaa käsitteenä sekä perehdyttiin UML-mallinnuskielen (Unified Modeling Language) käyttöön mallikuvauksen laadinnassa.</p> <p>Tutkimuksessa selvitettiin kyselytutkimuksella Merivoimien operatiivisen suunnittelun asiantuntijoilta, minkälaisia mallinnuskysymyksiä mallin avulla tulisi ratkaista. Kysymysten perusteella määritettiin asioita ja ilmiöitä, joita kysymysten ratkaisemiseksi on mallinnettava. Asioiden ja ilmiöiden määrittelyn jälkeen tutkittiin erilaisia menetelmiä niiden mallintamiseksi. Tutkimuksen perusteella laadittiin mallikuvaus Merellisen taistelutilan mallista, joka on samalla myös tärkein tutkimustulos.</p>	
<p>AVAINSANAT</p> <p>Mallintaminen, simulointi, taistelutila, mallikuvaus</p>	

MERELLISEN TAISTELUTILAN MALLINNUS

1.	JOHDANTO	1
1.1.	Tutkimuksen lähtökohdat	2
1.1.1.	Merellisen taistelutilanmallin käyttäjävaatimukset	3
1.2.	Tutkimustilanne	5
1.3.	Tutkimuksen päämäärä ja tutkimusongelma	6
1.4.	Tutkimusnäkökulma ja rajaukset	7
1.5.	Tutkimusmenetelmä	8
1.6.	Käsitteet ja termit	9
2.	MALLINNUS JA SIMULOINTI	11
2.1.	Mallintamisen sotilaallisia käyttökohteita	11
2.2.	Mallien jaottelu	12
2.3.	Mallien hierarkiatasot	13
2.4.	Abstraktiotaso	17
2.5.	Simulaatioiden luokittelu	20
2.6.	Ongelman ratkaisu mallintamisen avulla	23
3.	MERELLINEN TAISTELUTILA	28
3.1.	Käsiteanalyysi	28
3.2.	Taistelukentästä taistelutilaan	29
3.3.	2000-luvun taistelutilan ulottuvuudet	30
3.4.	Merellisen taistelutilan keskeiset elementit	32
4.	MERELLISEN TAISTELUTILAN MALLIN PERUSTEET	34
4.1.	Skenaario	34
4.2.	Mitä mallin avulla pitää ratkaista?	36
4.3.	Mitä asioita pitää mallintaa?	38
4.4.	Miten asiat mallinnetaan?	40
4.4.1.	Miinasodankäynnin vaikutuksen mallintaminen	40
4.4.2.	Tykistötulenkäytön vaikutuksen mallintaminen	44
4.4.3.	Ohjustulenkäytön vaikutuksen mallintaminen	47
4.4.4.	Toimintaympäristön mallintaminen	49
5.	MALLIKUVAUS	53
5.1.	Merellisen taistelutilan metamalli	53
5.2.	Metamallista mallikuvaus	55
5.3.	Vaatimusanalyysi Merellisen taistelutilan mallista	56
5.4.	Käyttötapauskaavio ja käyttötapausten määrittely	62
5.5.	Käsitteellinen malli: luokat	69
5.6.	Käsitteellinen malli: Mallisanasto ja assosiaatiot	71

5.7.	Mallin keskeisimmät oliot.....	74
6.	YHTEENVETO	83
6.1.	Tutkimuksen sisältö	83
6.2.	Keskeiset tutkimustulokset.....	83
6.3.	Tutkimuksen laadun arviointi	86

MERELLISEN TAISTELUTILAN MALLINNUS

1. JOHDANTO

Sotajoukkojen menestyksellä johtaminen edellyttää monimutkaisten kokonaisuuksien hahmottamista ja kykyä arvioida eri vaihtoehtojen vaikutusta tulevaisuudessa. Sotilasjohtajat ovat kautta aikain harjoittaneet hahmottamiskykyänsä esimerkiksi pelaamalla strategiap pelejä kuten shakkia. Shakissa, kuten muissakin strategiap leissä, pelistrategia koostuu siirroista, joiden vaikutusta ei voi konkreettisesti laskea, mutta jotka tulevat näkyviksi vasta monen siirron kulluttua. Voittajaksi nousee se, joka kykenee parhaiten arvioimaan pelin kehityksen. Shakissa taistelu käydään kahden osapuolen välillä, 8 x 8 ruutua kokoisella taistelukentällä, ja kummallakin on käytössään 16 suoritusk ykyä. Vaikka pelin strukturoidun muodon ja tarkkojen sääntöjen mukaan peliä voisi kuivitella yksinkertaiseksi, shakkia pidetään yhtenä maailman monimutkaisimmista ja vaativimmista strategiap leistä. Sodassa taistelut käydään useissa eri ulottuvuuksissa, joukoilla, joiden määrä ja suoritusk yky vaihtelevat, rajaamattomalla alueella ja mikä ehkä merkittäväntä, ilman sääntöjä. Ei siis ihme, että nykyaikaisen taistelutilan kompleksisuus ja ihmisen käsitysk yvyn rajallisuus asettavat rajoitteita parhaidenkin sotilasjohtajien k yvyllä hahmottaa taistelun kokonaisuus.

Tapahtumien hahmottamisen helpottamiseksi on kehitetty erilaisia mallinnus- ja simulointimenetelmiä. Mallinnus- ja simulointiohjelmien avulla voidaan arvioida taistelukentän eri osatekijöiden vaikutusta kokonaisuuteen. Mitä kompleksisempi tilanne, sitä epätarkempia vastauksia mallinnuksen avulla voidaan saada. Keskeisin mallinnusta käyttävän ihmisen tehtävä on keksiä oikeat kysymykset, joihin mallin avulla halutaan vastata. Mikäli kysymyksenasettelu on tehty huonosti, ei vastauksesta voi tulla hyvää. Suurin haaste mallinnuspalveluiden asiakkaille onki laatia oikeita kysymyksiä mallien ja simulaatioiden ratkaistavaksi.

Mallinnukseen ja simulointiin suhtaudutaan Merivoimissa erittäin myönteisesti ja yleisen käsityksen mukaan mallinnus- ja simulointityökalut vaikuttavat soveltuvan erinomaisesti lähes kaikkeen sotilastoimintaan. Positiivisesta suhtautumisesta huolimatta mallinnus- ja simulointityökaluja ei juurikaan hyödynnetä Merivoimien operatiivisessa suunnittelussa. Johtuen pääasiassa siitä, ettei soveltuvia työkaluja ole kehitetty. Kehityksen esteenä on paitsi kehitykseen varattujen resurssien vähyys myös se, etteivät asiakkaiden ja mallintajien käsitykset kohtaa toisiaan. Tutkimuksen aikana tutkija on keskustellut useiden Merivoimien upseereiden kanssa, joiden kommentit ja näkemykset voisi tiivistää seuraavaan lauseeseen: ”Olisi upeaa, jos kaikki Suomen sotalaivat voitaisiin mallintaa täydellisinä, aseineen ja järjestelmineen, samoin kuin koko Suomenlahtikin.” Niin upeaa kuin kyseisen mallin rakentaminen olisikin, ei sen rakentamiseen kannattaisi ryhtyä ennen kuin perimmäinen kysymys on kyetty yksilöimään: mikä ongelma mallin avulla pitää ratkaista? Empiiristen havaintojen perusteella tutkija on pannut merkille, että valtaosa asiakkaiden vaatimuksista ja toiveista liittyy itse malliin, simulaatioon sekä niiden ominaisuuksiin, eikä siihen mitä mallin tulisi tuottaa. Periaatteessa asiakkaan ei edes tulisi kertoa mitä asioita mallin kuuluu mallintaa, vaan ainoastaan mihin mallia käytetään ja mitä sen pitäisi ratkaista. Tämän jälkeen mallin rakentajan tehtävä on laatia malli ja simulaatio, jotka tuottavat halutun tuotteen. Toisinaan mallinnukselle asetetaan epärealistisia toiveita, kuten: tavoite, että mallin avulla voitaisiin selvittää mikä on taistelun lopputulos. Mallinnuksella ja simuloinnilla voidaan yrittää jäljitellä todellisuutta, mutta johtopäätösten tekeminen ja tulkitseminen on syytä jättää ihmiselle.

1.1. Tutkimuksen lähtökohdat

Tutkimustyön aihealueena on Merellisen taistelutilan mallinnus. Tutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa asiakkaiden todellisia tarpeita ja selvittää mitä niiden täyttäminen edellyttää mallilta ja siihen liittyvältä simulaatiolta. Tutkimuksen lopputuotteena tulisi olla mallikuvaus, jonka avulla voitaisiin rakentaa asiakkaan tietotarpeisiin vastaava malli. Tutkimus sivuaa Merivoimien Meritaistelukeskuksen merelliseen taistelutilaan liittyvää tutkimusprojektia ja pyrkii osaltaan tukemaan projektin tavoitteiden saavuttamista.

Merellisen taistelutilan mallilla pyritään kuvaamaan merisodankäynnin kannalta keskeisiä ympäristön ominaisuuksia. Esimerkiksi operaatioanalyysin kannalta on tullut yhä tärkeämmäksi pystyä mallintamaan ja simuloimaan toimintaympäristössä olevia muuttujia [29]. Mallinnusta voidaan käyttää hyödyksi taistelutilan eri osakokonaisuuksien hahmottamisessa operaatiosuunnittelun aikana. Modernit taistelujärjestelmät tallentavat järjestelmien toimintaan liittyvää informaatiota, joka yhdistettynä taistelutilan malliin helpottaa taistelun tai harjoituksen analysointia.

Diplomityön taustalla on Esiupseerikurssi 65:lla laadittu tutkimustyö *Merellisen taistelutilan mallin käyttäjävaatimukset* (2013), jossa selvitettiin mallinnustarvetta käyttäjän näkökulmasta. Tutkimustyön tulokset muodostavat osan diplomityön vaatimusanalyysistä.

1.1.1. Merellisen taistelutilanmallin käyttäjävaatimukset

Tutkimuksessa lähestyttiin mallinnustarvetta käyttäjävaatimusten näkökulmasta. Tutkimus pohjautui käyttäjätarvekyselyyn, johon vastasi 14 % Merivoimien upseeristosta. Käyttäjätarvekyselyllä selvitettiin Merivoimien upseereiden näkemyksiä siitä, millaisia vaatimuksia heillä olisi valmiille mallille ja miksi merellistä taistelutilaa ylipäättään tulisi mallintaa. Tutkimuksen perusteella vaikuttaisi siltä, ettei vastaajilla ollut selkeää kuvaa siitä, mitä mallin oikeastaan haluttiin tekevän. Tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että mallinnus koetaan tärkeänä ja ajanmukaisena työkaluna, vaikka sen käyttöperiaatteet ja käytön tuomat mahdollisuudet ovat vähintäänkin epäselviä. [49]

Merellisen taistelutilan mallin käyttäjätarvekyselyn perusteella mallille määritettiin erilaisia käyttäjäryhmiä, joista tässä tutkimuksessa käsitellään käyttäjäryhmää *mallista saatavan informaation käyttäjät*. Ryhmän keskeisimmät käyttäjät ovat yhtymä- ja joukkoyksikkötason operatiivisten ja taktisten suunnitelmien laatijat. Muita informaation käyttäjiä ovat puolustushaaratason operatiiviset suunnittelijat sekä alus- ja perusyksikkötason taisteluteknisten toimenpiteiden suunnittelijat. [49] Vaikka vastaajat nostivatkin mallin keskeisimmäksi käyttäjäksi yhtymä- ja joukkoyksikkötason, vastauksista johdettujen alustavien suorituskyykyvaatimusten perusteella malli asettuisi hierarkialtaan parhaiten yhtymä-puolustushaaratasolle.

Merellisen taistelutilan käyttäjävaatimuksissa mallin alustavat suorituskyykyvaatimukset määriteltiin seuraavasti: Merellisen taistelutilan mallilla on kyettävä havainnollistamaan merellisen taistelutilan maastoa, olosuhteita, tapahtumia, ilmiöitä, joukkoja ja joukkojen suorituskyyky yhdessä tietojärjestelmässä. Merellisen taistelutilan mallin avulla tulee pystyä simuloimaan taistelukentän tapahtumia. Merellisen taistelutilan mallin avulla tulee myös pystyä oman toiminnan jälkianalyysiin, sekä tuottamaan arvioita merellisen taistelutilan tapahtumien todennäköisyyksistä. Lisäksi sitä tulee pystyä hyödyntämään operatiivisen suunnitteluprosessin eri vaiheissa. [49] Toisin sanoen tutkimuskyselyyn vastanneiden mielestä pitäisi olla olemassa simulaattori, jolla voisi tehdä kaikkea mahdollista. Kyseisen kaltaisen yleissimulaattorin toteuttaminen ei vaikuta edes teoriassa mahdolliselta ja vaikka se sitä olisikin, se vaatisi suhteetoman suuren panoksen asettamista verrattuna siitä saatavaan hyötyyn.

Käyttäjävaatimusten perusteella keskeiset mallissa esitettävät asiat ovat merellisen taistelutilan kolmiulotteinen kartta, taistelualusten ja joukkojen sijainti sekä tärkeimpien ase- ja valvontajärjestelmien suorituskyky. [49] Vaikka vastaajilla oli selkeä näkemys kolmiulotteisen kartan tarpeellisuudesta, perusteita siihen ei kuitenkaan löytynyt. Tarkasteltaessa vastauksia kokonaisuutena vaikuttaisi siltä, että vastaajilla oli ennakkokäsitys siitä, mitä mallinnus tarkoittaa, ja että he sovittivat tarpeensa jo valmiiseen käsitykseen. Tutkimuskyselyn aikaan Merivoimat osallistui voimakkaasti Ilmavoimien torjunta-analyysiprosessiin, jonka yhtenä tuotteena Merivoimille jaettiin visuaalinen kolmiulotteinen simulaatio ilmatorjuntaharjoituksista. Kyselyn vastauksissa ja ilmatorjunta-analyysin simulaatiossa on nähtävissä useita yhtymäkohtia.

Merellisen taistelutilan mallin käyttäjävaatimusten perusteella mallin keskeisimmiksi käyttötarkoituksiksi nousevat operatiivinen ja taktinen suunnittelu, joka asemoituu yhtymäpuolustushaara-tasolle sekä asejärjestelmien käytön suunnittelu, joka puolestaan asemoituu parhaiten taistelutekniselle tasolle. Lisäksi mallille esitettiin suuri joukko muita käyttötarpeita, kuten: toiminnan jälkianalyysi, käyttäminen opetusvälineenä, asejärjestelmähankintojen valmistelu, suorituskykyjen kehittämisen apuväline sekä sähkömagneettisen säteilyn vaikutuksen suunnittelu ja arviointi. [49] Kaiken kaikkiaan esitetyt vaatimukset ovat erittäin laaja-alaisia, ja realistiset mahdollisuudet kaikkien vaatimusten toteuttamiseksi ovat olemattomat.

”Merellisen taistelutilan käyttäjävaatimukset”-tutkimuksessa mallille laadittiin luonnos operatiiviseksi konseptiksi, jonka yhtenä käyttötapauksena määritettiin tulevaisuuden tarkastelu. Konseptiluonnoksen mukaan tulevaisuuden tarkastelussa yksiköille ja asejärjestelmille syötetään haluttuja arvoja tai malli tuottaa niille stokastisia arvoja. Esimerkkinä tulevaisuuden tarkastelusta on operaation aikautuksen tarkastelu. Tarkastelun alaisille yksiköille annetaan ryhmittymistehtävä ja sen jälkeen toteutettava tulitehtävä tietylle alueelle. Malliin syötetään kullekin joukolle lähtöpaikka, määränpää, käytettävä reitti ja nopeus. Samat tiedot syötetään tarkasteltaville vastustajan joukoille. Määränpäässä joukot aloittavat tulitoiminnan käsketylle alueelle. Mallissa käynnistetään simulaatio, ja joukkojen käyttäytymisestä ja operaation etenemisestä tehdään havaintoja. Tarvittaessa simulaatioon lisätään elementtejä, kuten sään vaikutusta ja stokastisia virheitä joukkojen käyttäytymiseen. Mikäli simulaatio osoittaa puutteita operaation suunnittelussa, tehdään siihen tarvittavat muutokset ja operaatio testataan uudelleen. [49]

Mallin operatiivista käyttöä luonnosteltiin tutkimuksessa seuraavasti: Merellisen taistelutilan mallia käytetään päätöksenteon tukena pääasiassa puolustushaara-, yhtymä- ja joukkoyksikkö-tasolla. Mallin avulla testataan suunnitelmien toimivuutta ja tarkastellaan eri toimintavaihtoehtoja. Mallin avulla arvioidaan operatiivisen suunnitteluprosessin aikana tehtyjen oletusten pitävyyttä. Poikkeusoloissa tapahtuva operatiivinen suunnittelu on nopeaa, ja mallin tuottama informaatiota tulee voida käyttää sellaisenaan operatiivisen suunnitteluprosessin tukena. Mallintaminen tehdään joko oman henkilöstön toimenpitein tai se tilataan palveluna erikseen tehtävään koulutetulta taholta. Malli tai sen tuottava taho eivät kuitenkaan tuota esikuntien puolesta päätösten edellyttämää analyysiä, vaan malli tuottaa informaatiota havainnollisessa muodossa esikuntien analysoitavaksi ja komentajan päätösten tueksi.[49]

1.2. Tutkimustilanne

Mallinnuksesta ja taistelukentän digitalisoinnista on olemassa runsaasti tutkimusmateriaalia. Muun muassa The Naval Postgraduate School; Modeling, Virtual Environments and Simulation Institute on tehnyt tutkimustyötä mallinnuksen saralla jo vuodesta 1996. Mallinnukseen liittyvä materiaali on pääosin englanninkielistä.

Suomalaisesta mallinnuksen ja simuloinnin tutkimuksesta sotilaallisesta näkökulmasta mainittakoon insinööriereverstiluutnantti, sotatieteiden tohtori Esa Lapin vuonna 2012 julkaistu väitöskirja *Computational methods for tactical simulations*, joka käsittelee tietokoneavusteisen simuloinnin laskennallisia menetelmiä, joita voidaan käyttää taktisen tason sotapeleissä.

Maanpuolustuskorkeakoulun Sotatekniikanlaitoksen julkaisusarjoista mallinnusta käsitteleviä tutkimuksia ovat muun muassa eversti, sotatieteiden ja tekniikan tohtori Mika Hyytiäisen *Maasodankäynnin taistelumallit ja taktiset simulaattorit – paikkatiedon käyttötapa* (2002) sekä tekniikan tohtori Tuomas Hytösen *Matemaattisista taistelumalleista* (2005).

Majuri Vesa Kankare on tutkinut yleisesikuntaupseerin diplomityössään *Panssarintorjunnan simulointimenetelmien tarkastelu* (2011) kahden eri matemaattisen menetelmän soveltuvuutta panssarintorjuntataisteluiden simulointiin. Tutkimuksessa vertahtiin FLAMES- ja Matlab-ohjelmistojen soveltuvuutta panssarintorjunnan operatiivisen suunnittelun ja operaatioanalyysin työkaluksi. Vastaavanlainen vertaileva tutkimus tulee todennäköisesti tehtäväksi, kun arvioidaan Merellisen taistelutilan mallin soveltuvuutta merellisten sotatoimien arvioinnissa.

Meritaistelukeskuksessa on käynnissä tutkimusprojekti ”Merivoimien toimintaympäristön mallintaminen” (MTM-projekti), joka toimii yläkäsitteenä kaikelle Meritaistelukeskuksessa tapahtuvalle mallinnukseen ja simulointiin liittyvälle tutkimukselle. Tutkimusprojekti on jatkuva ja tapahtuu prosessityönä. Meritaistelukeskuksen MTM-projektin tavoitteena on selvittää kaikki merellisen taistelutilan keskeiset ilmiöt sekä keskeisten merellisessä ympäristössä toimivien järjestelmien parametrit. Keskeiset tutkimuskysymykset ovat: Mitkä ovat meripuolustuksen mallintamisessa tarvittavat ase- ja sensorijärjestelmien parametrit? Miten niitä voidaan hyödyntää meripuolustuksen mallintamisessa? [34] MTM-projektin tutkimuskysymyksistä ei varsinaisesti voida johtaa alakysymyksiä siitä, mitä ongelmia mallin tulisi ratkaista. Merellisen taistelutilan mallin näkökulmasta tarkasteltuna MTM-projekti toimii alaluvussa 2.6 tarkemmin käsiteltävänä taustatietojen ja parametrien keräämisenä.

Merivoimilta puuttuu omaa merellistä toimintaympäristöä kuvaava malli, jonka avulla voisi tarkastella taistelutilassa tapahtuvia asioita ja ilmiöitä. Merivoimissa ei ole aiemmin laadittu taistelutilan mallintamiseen liittyvää, operatiivisista lähtökohdista tehtyä tutkimusta, jossa selkeästi määritetään, miten mallinnusta hyödynnetään operatiivisen suunnittelun prosessissa. Toisin sanoen, mihin tai minkä tyyppisiin kysymyksiin mallista etsitään vastauksia.

1.3. Tutkimuksen päämäärä ja tutkimusongelma

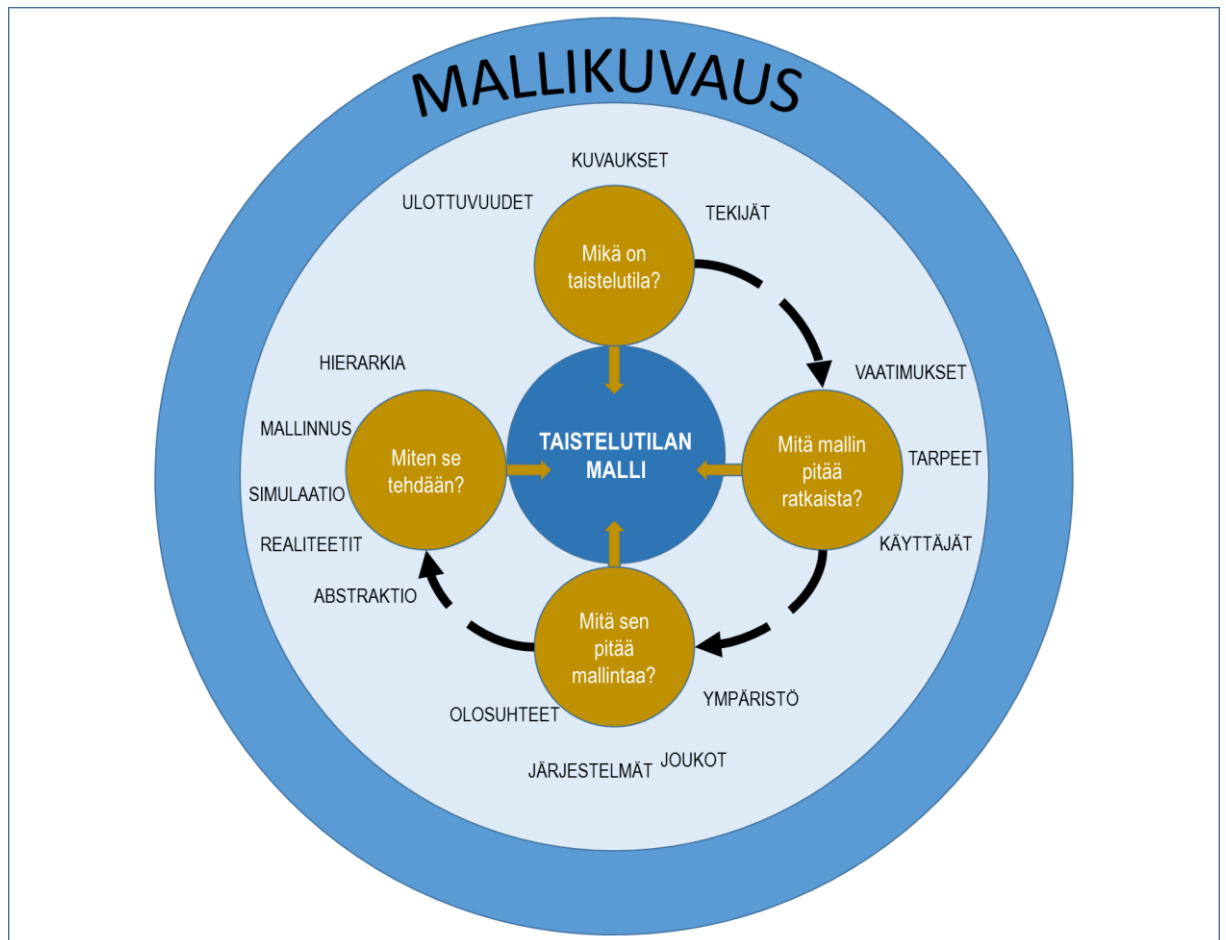
Tutkimuksen päämääränä on laatia Mallikuvaus Merellisen taistelutilan mallista. Tarkoituksena on tuottaa tutkittua tietoa Merivoimien mallinnuspalveluiden kehittämiseksi siten, että tutkimustuloksiin perustuen voidaan rakentaa malli, joka soveltuu Merivoimien operatiivisen suunnittelun tarpeisiin.

Tutkimuksen pääkysymys on: Millainen on operatiivisen suunnittelun tarpeisiin tehty Merellisen taistelutilan malli?

Pääkysymystä lähestytään vastaamalla seuraaviin alakysymyksiin:

1. Millainen on merellinen taistelutila, joka pitää mallintaa?
2. Minkälaisiin kysymyksiin Merellisen taistelutilan mallissa ajettavilla simulaatioilla pitäisi saada ratkaisu?
3. Mitä asioita Merellisen taistelutilan mallin pitää mallintaa, jotta sen avulla voidaan ratkaista esitettyjä kysymyksiä?
4. Miten mallin vaatimat asiat mallinnetaan?

Tutkimuksen viitekehys on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1: Tutkimuksen viitekehys

1.4. Tutkimusnäkökulma ja rajaukset

Tutkimusongelmaa lähestytään puolustushaaratason operatiivisten suunnitteluvaatimusten näkökulmasta.

Diplomityö rajataan käsittelemään Merivoimien operatiiviseen suunnitteluun liittyviä kysymyksiä maihinnousun torjunnan skenaariossa. Tutkimusnäkökulmassa on komentajien ja suunnitelman laatijoiden kriittiset tietotarpeet, niiltä osin kuin ne voidaan mallinnuksella ratkaista.

Tutkimus rajataan käsittelemään taistelutilan elementeistä sellaisia kokonaisuuksia, joita käytetään aktiivisesti maihinnousun torjunnassa. Tarkastelussa huomioidaan vain sellaisia suorituskykyjä, jotka muodostuvat skenaarion mukaisten joukkojen käytöstä. Esimerkiksi ilmapuolustuksen vaikutus skenaarion kulkuun rajataan pois. Skenaario on esitetty luvussa 4.1.

Merellistä taistelutilaa tarkastellaan Suomen Merivoimien operatiivisen suunnittelun tarpeiden näkökulmasta. *Merellisen taistelutilan mallin käyttäjävaatimukset*-tutkimuksessa tunnistetusta mallin käyttäjistä rajataan tarkasteluun ainoastaan käyttäjäryhmä *mallista saatavan informaation käyttäjät*. Käyttäjävaatimuksista tarkastelu kohdennetaan niihin vaatimuksiin, jotka koskevat mallista saatavan informaation käyttäjiä.

Tutkimuksessa operatiivisten suunnittelijoiden kysymyksiin pyritään vastaamaan konstruktivistisella mallintamisella ja simuloinnilla.

Tutkimus rajataan käsittelemään ainoastaan niitä ominaisuuksia, kuvauksia ja vaatimuksia, joita valmiin merellisen taistelutilan mallin tulee täyttää. Tutkimuksen ulkopuolelle jätetään se, kuinka malli teknisesti toteutetaan. Tutkimuksesta on rajattu pois mallin matemaattinen tarkastelu.

Tutkimustyö on suojaustasoltaan julkinen. Tutkimuksessa käsitellään sotilaallisia suorituskyykyjä yleisellä tasolla eivätkä tutkimuksessa esiintyvät joukot, alueet tai taktiikat kuvaa suoraan minkään valtion tai puolustuslaitoksen todellisia suorituskyyarvoja.

1.5. Tutkimusmenetelmä

Tekniikan tutkimusmenetelmien tieteellisyydestä käydään aika ajoin akateemista väittelyä, eikä tekniikan tutkimukselle ole olemassa yleisesti hyväksyttyä paradigmaa. Tekniikkaa voidaan tutkia lähes millä menetelmällä tahansa, kunhan tutkimuksessa noudatetaan yleisesti hyväksyttyjä tieteellisiä kriteereitä. [27] Tieteen kriteereitä ovat tutkineet esimerkiksi yhdysvaltalainen filosofi Charles Peirce (1839–1914), joka määritteli tieteelle muun muassa seuraavia tuntomerkkejä [39]:

- kriittisyys
- objektiivisuus
- itsensä korjaavuus
- julkisuus
- toistettavuus

Tämä tutkimus ei perustu yhdelle selkeälle päätutkimusmenetelmälle, vaan eri menetelmiä on käytetty sen mukaan, mikä kulloinkin on soveltunut tarkoituksenmukaisimmalla tavalla ongelman ratkaisemiseen. Yleisesti voidaan todeta, että tutkimus on luonteeltaan kvalitatiivinen ja perustuu empiiriseen tutkimukseen. Tutkimuksen lähestymistapa on deskriptiivinen, toteava ja kuvaileva, ja tarkoituksena on luoda havainnollinen kuvaus siitä, miten mallinnuksella vastataan operatiivisten suunnittelijoiden tarpeisiin [2].

Tutkimuksessa käytetyt tutkimusmenetelmät voidaan luetella pääpiirteissään seuraavasti:

Toisessa luvussa tutkimusmenetelmänä on käytetty kirjallisuustutkimusta, jossa lähdeaineistoon perustuen pyritään taustoittamaan mallinnuksen ja simuloinnin menetelmiä, käyttökohteita ja määritelmiä.

Kolmannessa luvussa tutkimusmenetelmänä on käytetty käsiteanalyysia ja kirjallisuustutkimusta, joiden avulla pyritään yksilöimään ja määrittelemään mallinnuksen kohde, Merellinen taistelutila.

Neljännessä luvussa tutkimusmenetelmänä on käytetty kyselytutkimusta. Kyselytutkimuksen avulla kohderyhmältä selvitettiin, minkälaisiin kysymyksiin mallin tulisi kyetä tuottamaan vastaus. Kyselytutkimuksen perusjoukkona toimi Merivoimien operatiiviseen suunnitteluun puolustushaarasolla perehtynyt upseeristo. Otantamenetelmänä käytettiin harkinnanvaraista näytettä, jossa vastaajajoukko edustaa mahdollisimman kattavasti Merivoimien toimialojen näkemyksiä.

Viidennessä luvussa, joka sisältää varsinaisen mallikuvauksen, tutkimusmenetelminä on käytetty perehtymistä ja suunnittelua [27].

1.6. Käsitteet ja termit

Mallintaminen. Mallintamisella tarkoitetaan asian tai käsitteen esittämistä toisessa formaatissa, mallin avulla. Esimerkiksi abstraktin käsitteen voi mallintaa viitekehyksen avulla, ja luonnonilmiön voi mallintaa matemaattisesti. Mallinnusformaatin valinnan ratkaisee yleensä käyttotarve [11; 24; 35].

Malli. Mallilla tarkoitetaan mallintamisen tuotetta, mallinetta, jota tarkastelemalla havainnoidaan mallintamisen kohdetta. [11; 24] Malli voi olla fyysinen, matemaattinen tai muulla tavalla looginen esitysmuoto järjestelmästä, ilmiöstä, prosessista tai kokonaisuudesta. [36; 37]

Oliokieli. Oliokieli (Object-oriented programming) on ohjelmoinnin lähestymistapa, jossa ohjelman toiminnollisuudet kuvataan olioiden operaatioissa, ja ohjelman käsittelemä tieto on tallennettuna olioiden attribuuteissa tai olioiden operaatioiden paikallisissa muuttujissa. Oliokielinen ohjelma muodostuu kokoelmasta toistensa kanssa vuorovaikutuksessa toimivista olioista, siinä missä perinteinen tietokoneohjelma muodostuu ohjeluettelosta, jota tietokone suorittaa. [4; 25]

Olio. Oliolla (object) tarkoitetaan mallin perusyksikköä, joka ilmentää mallinnettavaa kohdetta ja sen ominaisuuksia mallissa. Olioilla on kyky kommunikoida toisten olioiden kanssa lähettämällä ja vastaanottamalla käskyjä. Käskyjen perusteella oliot suorittavat toimintoja ja käynnistävät tapahtumia. Olioiden vuorovaikutuksesta muodostuu reaaliaikaisen maailman käsitteiden tai ilmiöiden kokonaisuus. Olion tila määritellään luettelemalla kaikki sen määreet. [25; 35]

Luokka. Luokka (class) on oliokielissä käytettävä määritelmä, joka sisältää tietyn oliojoukon yhteiset piirteet. Jokaisella oliolla on yksikäsitteinen luokka, jonka mukaan olio on luotu ja jonka ilmentymänä olio toimii. Luokka määrittelee mitä attribuutteja ja operaatioita siihen kuuluvilla olioilla on. Jokainen saman luokan olio sisältää samat attribuutit ja operaatiot, ainoat eroavaisuudet ovat attribuuttien arvoissa. Luokka on siis eräänlainen aihio tai muotti, jonka avulla olioita luodaan. [10; 25]

Simulaatio. Simulaatiolla pyritään jäljittämään todellisuutta [12]. Erotuksena mallintamiseen simuloinnilla pyritään jäljittämään, arvioimaan tai ennustamaan jonkin asian tai ilmiön käyttäytymistä luodussa mallissa [17; 31]. Simulaatiolla tarkoitetaan myös menetelmää, joka toteuttaa mallia ajan funktiona. [37]

Simulaattori. Laite, tietokoneohjelma tai järjestelmä, joka toteuttaa simulaation. Koulutus-simulaattori on laite, joka tuottaa koulutettavalle harjoiteltavan kokonaisuuden keskeiset ominaisuudet ja vastaa koulutettavan antamiin syötteisiin. [35; 36]

Skenaario. Tämän tutkimuksen viitekehyksessä skenaariolla tarkoitetaan toiminnallista käsikirjoitusta, joka määrittää mallissa olevat joukot, ympäristötekijät, tavoitteet ja toimintasäännöt. [12; 35]

Sotapeli. Simuloitu sotatapahtuma, jossa pelaajat pyrkivät saavuttamaan erikseen määritetyt sotilaalliset tavoitteet etukäteen määritettyjen resurssien ja rajoitusten puitteissa. Sotapeli voidaan toteuttaa joko tietokoneavusteisesti tai ihmisten toimesta. [35]

2. MALLINNUS JA SIMULOINTI

Malleja ja niihin liittyviä simulaatiota on käytössä lukemattomia määriä. Vaikka sekä mallinnus että simulaatio ovat termeinä määriteltyjä, ei niistä suoraan voida päätellä millainen käytetty malli tai simulaatio todellisuudessa on. Malleja ja simulaatioita voidaan jaotella, luokitella ja määritellä lukuisilla eri tavoilla. Tässä luvussa selvitetään mallien ja simulaatioiden eri ulottuvuuksia. Tavoitteena on, että sekä mallinnustarpeen esittäjällä että mallin tuottajalla olisi mahdollisimman yhteneväinen käsitys siitä, mitä mallintaminen ja simulointi tarkoittavat, sekä minkä tyyppinen malli ja simulaatio parhaiten vastaisivat esitettyihin vaatimuksiin.

2.1. Mallintamisen sotilaallisia käyttökohteita

Operatiivisesta näkökulmasta keskeisimpiä mallintamisen sotilaallisista sovellutuksista ovat erityyppiset tietokoneavusteiset sotapelit. Sotapeleissä joukot käyvät simuloituja taisteluja realistisissa tilanteissa. Taisteluiden simulaatiot perustuvat malleille, jotka jäljittelevät oikeaa taistelutilaa. Sotapeleissä toimijat ovat aitoja, mutta tapahtumat ja taistelutila ovat simuloituja. Esimerkki Suomessa käytössä olevasta tietokoneella simuloidusta sotapelistä on KESI (Komentaja- ja Esikuntakoulutuksen Simulointijärjestelmä). [1; 31] Sotapelejä käydään yleensä osana operatiivista suunnittelua. Sotapelien tarkoituksena on vertailla erilaisten vaihtoehtojen toimivuutta vastustajan vaikutuksen alla. [16] Sotapelien avulla voidaan tunnistaa toimintavaihtoehtoihin sisältyviä uhkia ja mahdollisuuksia. Sotapelit helpottavat myös sellaisten kriittisten hetkien hahmottamista, joissa komentajan on päätettävä vasta- tai jatkotoimenpiteisiin ryhtymisestä. [41] Sotapelien laskentamallit keskittyvät pääsääntöisesti vaikuttamiseen ja tuottavat pelaajille tappiojakaumia yksikkö- ja asetyypeittäin. Lisäksi mallit voivat tuottaa simulaation kulusta visuaalisen esityksen sekä muita operaatioanalyysin kannalta merkittäviä tietoja esimerkiksi keskimääräisistä havainto- tai ampumaetäisyyksistä. [28]

Tietokoneavusteisia sotapelejä ja laskennallisia taistelusimulaattoreita hyödynnetään myös päätöksenteon tukijärjestelminä. Taistelua ja taistelutilan olosuhteita mallintavien ohjelmien avulla esikunnat voivat simuloida taisteluja ja tilanteita etukäteen. Päätöksenteon kannalta on keskeistä, että tulokset saadaan lyhyessä ajassa ja että niiden tulkinta on helppoa. Päätöksentekoa tukeville sovelluksille onkin tyypillistä nopeasti saadut pelkistetyt tulokset. [31] Yleensä mallit ovat matemaattisia ja tarkasteltavina tuotoksina ovat keskiarvot, hajonnat ja todennäköisyydet. Sotapelisovellukset ja päätöksenteon tukijärjestelmät ovat lähellä toisiaan, mutta sotapelaamisessa kiinnitetään enemmän huomioita tehtyjen ratkaisuiden vertailuun ja jakauman ominaisuuksiin. Päätöksenteon tukijärjestelmien avulla tarkastellaan puolestaan taisteluiden lopputulosta. [16]

Mallintamista voidaan hyödyntää tapahtumien jälkianalysoinnissa. Jälkianalyysin tavoitteena on oman suorituskyvyn todentaminen, analysointi ja kehittäminen sekä vastustajan taktiikan selvittäminen. Mallin avulla esitetään taltio tapahtumista syöttämällä malliin mahdollisimman tarkat tiedot kaikista toiminnan aikana voimassa olleista tekijöistä sekä asejärjestelmien, valvontajärjestelmien ja yksiköiden toimenpiteistä, jolloin niiden syitä ja seurauksia voidaan tarkastella yksityiskohtaisesti. Jälkianalyysijä ovat muun muassa ilmapuolustustaistelun jälkeen käyttävät torjunta-analyysit sekä vaikutus- ja tehokkuusarvioinnit. Torjunta-analyysissä tietojärjestelmät esittävät pelkästään tapahtumien kulun, jolloin mallin visuaaliset ominaisuudet korostuvat. Torjunta-analyysissä ihminen on pääroolissa johtopäätösten ja tulosten määrittämisessä. [19; 40] Vaikutus- ja tehokkuusarvioinneissa asejärjestelmien käyttäytymistä mallinnetaan usein matemaattisesti, koska visualisoinnilla ei saavuteta merkittävää lisäarvoa. Keskeinen tavoite on saada arviot vaikutuksen laajuudesta ja onnistumisen todennäköisyydestä, jotka tekee pääsääntöisesti tietokone. Vaikutus- ja tehokkuusarvioinneissa voidaan soveltaa myös operaatioanalyttisiä menetelmiä. [31]

2.2. Mallien jaottelu

Malleja voidaan jaotella ominaisuuksiensa ja käyttäytymisensä perusteella useilla eri tavoilla. Yksi tapa on jakaa ne käyttäytymisensä perusteella staattisiin malleihin ja dynaamisiin malleihin. Staattinen malli pysyy muuttumattomana koko tarkastelujakson, kun dynaamisessa mallissa puolestaan tapahtuu muutoksia ajan funktiona [24]. Esimerkkinä staattisesta mallista voidaan pitää hyökättävän kohteen 3D-kuvaa, jota tarkastelemalla on mahdollista arvioida tähytyksen ja tulen katvealueita sekä tehdä johtopäätöksiä optimaalisista hyökkäysreiteistä. Mallintamista käsittelevässä lähdekirjallisuudessa mallintamisesta ja simuloinnista puhutaan usein samassa yhteydessä, ja dynaamista mallia käytetään monesti simulointimallin synonyyminä. Dynaamisten mallien yleisimmät käyttösovellukset ovat erityyppisiä simulaatioita.

Mallit voidaan jakaa myös deterministisiin ja stokastisiin malleihin. Deterministisen mallin käyttäytyminen perustuu täysin siihen syötettyihin arvoihin. Stokastisen mallin käyttäytyminen perustuu satunnaisuudelle. Koska deterministisessä mallissa arvot pysyvät muuttumattomina koko tarkastelun ajan, ovat mallin tulokset aina identtisiä riippumatta simulointiajojen toistojen lukumäärästä. [24; 31] Deterministisen mallin avulla tehtävää tarkastelua voidaankin pitää tapahtumien tarkasteluna taulukko-olosuhteissa. Esimerkkinä deterministisistä malleista toimii Lanchesterin kulutusmallit, joilla mallinnetaan kahden taistelevan joukon vahvuutta ajan funktiona, huomioiden osapuolten toisilleen aiheuttamien tappioiden määrän [16; 30]. Havainnoitavasta kohteesta riippuen satunnaistekijöillä voi olla oleellinen vaikutus kohteen käyttäytymiseen. Stokastisessa mallissa satunnaistekijät vaikuttavat havainnointikohteen käyt-

täytymiseen mallissa ja lopputulokset ovat jokaisella toistokerralla erilaisia. Jotta yksittäisistä satunnaistekijöistä johtuvat vaikutukset eivät korostuisi, edellyttää johtopäätösten tekeminen useista toistoista saatujen tulosten jakauman tarkastelua. Esimerkki stokastisesta mallista voisi olla meritorjuntaohjuksen maaliin hakeutumista kuvaava malli. Stokastisessa mallissa ohjuksen hakupään aktivoitumishetkelle voidaan asettaa satunnaista vaihtelua samoin kuin esimerkiksi maalin vastatoimenpiteille. Lentorataan voidaan asettaa virheitä paikannustarkkuuden rajoissa ja niin edelleen. Ohjuksen hakeutuminen mallinnetaan useita kertoja ja tuloksista pyritään löytämään tilastollisia todennäköisyyksiä. [31]

Malleja voidaan jaotella myös muiden ominaisuuksiensa perusteella. Fyysisillä malleilla on nimensä mukaisesti fyysinen ulottuvuus. Sotilaallisena esimerkkinä fyysisestä mallista toimii hyökkäyksen kohteena olevan tukikohdan malli, johon on rakennettu kaikki taistelun kannalta keskeiset rakennelmat ja yksityiskohdat. Hyökkäävä iskuosasto voi harjoitella hyökkäyksen käytännön toimenpiteet eri skenaarioissa. Fyysinen malli voi olla myös dynaaminen, kuten Aalto-yliopiston Laivalaboratorion hinausallas, joka muodostaa fyysisen ja dynaamisen kokonaisuuden. Mallissa voidaan tarkastella esimerkiksi aallokon vaikutusta vuotavan aluksen vakavuuteen [33]. Malli voi olla olemassa myös pelkästään matemaattisina yhtälöinä, kuten esimerkiksi taisteluiden matemaattiset mallit, joissa toteutettujen simulaatioiden lopputuloksina saadaan aikaiseksi numeerisia arvioita taisteluiden lopputuloksista. [15; 28] Fysikaalinen malli puolestaan perustuu fysiikan laeille, kuten esimerkiksi kranaatin lentoradan malli. Kaikkein parhaiten tunnettu fysiikan lainalaisuuksiin perustuva simulaatio on todennäköisesti sääennuste [18; 24].

2.3. Mallien hierarkiatasot

Malleja voidaan jakaa eri tasoille mallien tarkkuudesta ja mallinnettavien kokonaisuuksien laajuudesta riippuen. Yksittäisiä kohteita, kuten jonkin laitteen jotakin komponenttia, voidaan mallintaa erittäin tarkasti. Toisaalta mallinnettaessa laajoja kokonaisuuksia on malleista tehtävä yleistyksiä. Yksi tapa jakaa mallit eri tasoille on Yhdysvaltain puolustusministeriön laati- ma nelitasoinen hierarkia, jonka alimmalla tasolla kuvataan tarkasti yksittäisiä komponentteja ja ylimmällä tasolla pyritään hahmottamaan laajoja kokonaisuuksia. [44] Mallien ja simulaatioiden hierarkioiden tasot on esitetty kuvassa 2. Peruseriaatteena voidaan todeta, että mitä pienempi kokonaisuus, sitä yksityiskohtaisemmin tekijät on mallinnettu. Vastaavasti mitä laajempi mallinnettava kokonaisuus on, sitä yleisluontoisemmalla tavalla mallinnetut tekijät.

Siinä missä alimman tason malleilla pyritään määrittämään tarkasteltavien kohteiden ja järjestelmien tarkkoja suorituskyykyarvoja ja ominaisuuksia, pyritään ylemmän tason malleilla saamaan selville ilmiöitä, kehitystä ja kehityksen suuntaa, sekä vertailemaan eri toimintavaihtoehtojen paremmuutta toisiinsa nähden eri tilanteissa. Ylimmän tason simulaatioissa lopputuotteet ovat usein laskelmia voiman riittävydestä tai esimerkiksi ilmaherruuden saavuttamiseen tarvittavan voiman olemassaolosta.[44]



Kuva 2: Mallien hierarkiatasot [44]

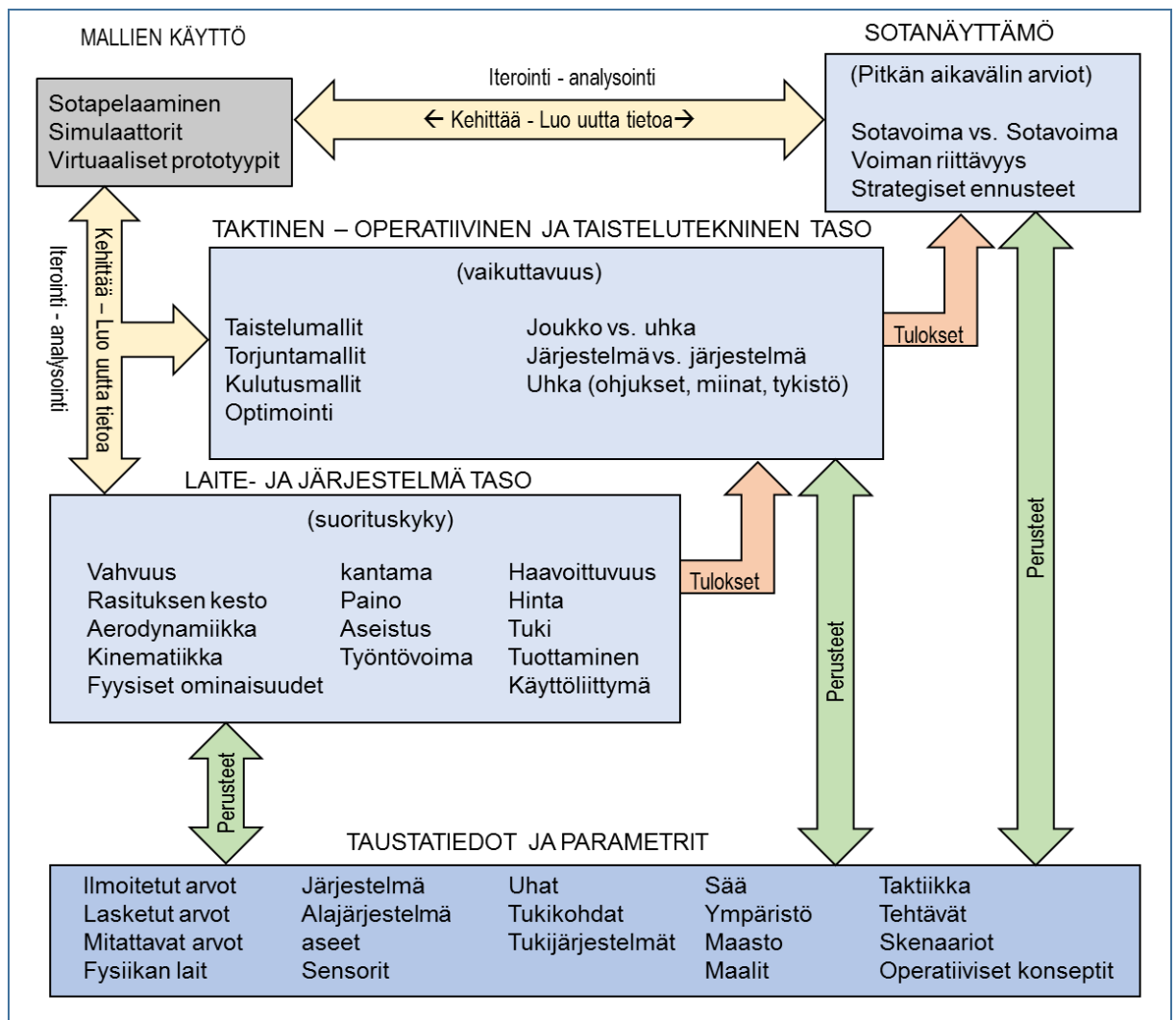
Alimmalla, laite- ja järjestelmätasolla, (Engineering level), mallit ovat erittäin yksityiskohtaisia ja niitä käytetään tuotesuunnitteluun, mittaamiseen ja tarkasteluun. Mallit kuvaavat yleensä mallinnettavan kohteen perusominaisuuksia, kuten aerodynamiikkaa, nopeutta, fyysisiä tai suureita. Laite- ja järjestelmätason mallit tuottavat niin sanotusti suorituskyykyarvoja, Measures of Performance. [44]

Taisteluteknisellä tasolla (Engagement level) mallien avulla voidaan simuloida järjestelmien toimintaa rajoitetuissa skenaarioissa, kuten järjestelmä vastaan järjestelmä tai pieni joukko vastaan pieni joukko. Tällä tasolla simulaatioilla tarkastellaan yksittäisten asejärjestelmien suorituskyykyä tarkasti määritettyä kohdetta vastaan, esimerkiksi tykistöpatterin tulen vaikutusta maalialueella. Tyypillisesti tällä tasolla malleista saadaan selville järjestelmän vaikuttavuuteen liittyviä arvoja, esimerkiksi järjestelmän haavoittuvuuksia ja vaikuttavuutta, Measures of Effectiveness. Mallit perustuvat järjestelmien suorituskyykyarvojen simuloinnille kuten asejärjestelmien kineettiselle kapasiteetille, kantamalle tai tutkien suorituskyykyille. Taisteluteknisellä tasolla mallin oliot ovat usein yksinkertaistettuja laite- ja järjestelmätason olioita. [44]

Taktis-operatiivisella tasolla (Mission/Battle level) simuloidaan joukkojen, jotka koostuvat useista eri järjestelmistä, taistelua toisiaan vastaan. Taktis-operatiivisen tason simulaatioiden avulla voidaan arvioida joukkojen suorituskykyä ja vaikuttavuutta, Measures of Effectiveness Force on Force level. Tällä tasolla tapahtuvilla simulaatioilla pyritään selvittämään esimerkiksi eri joukkojen ja taisteluosastojen suorituskykyä kohtaamistaistelussa. Taktis-operatiivisen tason simulaatiot tuottavat tietoa useiden eri järjestelmien suorituskyvystä. Mallin oliot ovat usein voimakkaasti yksinkertaistettuja, mutta simulaatioon lisätään myös muita suureita, kuten joukon moraalialia tai koulutustasoa kuvaavia arvoja. Taktis-operatiivisen tason simulaatioita voidaan käyttää osana sotapelaamista tai taktiikan kehittämistä sekä koulutusvälineenä. [44]

Sotanäyttämö-tason (Theatre/Campaign level) simulaatioilla pyritään tarkastelemaan laajoja yhteisoperaatioita, joissa varsinaisten sotatoimien lisäksi voi tulla tarkasteluun myös sotanäyttämön muita ulottuvuuksia. Ylimmän tason simulaatiot tuottavat pitkän aikavälin tuloksia ja arvioita sotanäyttämöltä. Malleissa käytettävät joukot ovat usein yhdistelmiä alemman tason simulaatioista tai niiden tuloksista. Mallien avulla voidaan esimerkiksi löytää merkittäviä puutteita sotajoukkojen rakenteellisissa kyvykkyyksissä sekä vaihtoehtoja joukkojen toimintavaihtoehtoiksi. Sotanäyttämö-tason malleja käytetään usein sotapelaamisen työkaluina. [44]

Edellä kuvattu mallien hierarkia antaa viitekehyksen, jossa mallien avulla voidaan tarkastella joukkojen ja järjestelmien suorituskykyä, kyvykkyyttä, taktiikka, doktriinia ja sodan lopputulemia. Käytännössä, samoin kuin mallien luokittelussakin, ei mallien tasoilla ole kuitenkaan aivan selkeitä rajoja. Usein mallit ja simulaatiot ovat yhdistelmiä eri tasoilta ja niissä käytetään eri luokkien mallinnusta.



Kuva 3: Hierarkiatasojen välinen vuorovaikutus [44]

Kuvassa 3 on esitetty kuinka eri hierarkiatason mallit muodostuvat taustatiedoista ja parametreista, alempien tason mallien tuottamista tuloksista sekä mallien käyttämisestä muodostuneista kokemuksista. Kaiken perustana olevien taustatietojen ja parametrien määrittäminen on perustutkimusta, jonka oikeellisuudella on merkittävä rooli myös itse mallinnuksen onnistumiselle. Otetaan esimerkiksi ohjusasejärjestelmä, jonka mallinnus tapahtuu laite- ja järjestelmätasolla. Järjestelmä muodostuu komponenteista, joiden mittatiedot ja arvot voidaan joko mitata tai selvittää lähteistä. Ennestään tuntemattoman ohjuksen suorituskykyä voidaan verrata vastaaviin tunnettuihin järjestelmin tai sitä voidaan yrittää laskea. Ohjusjärjestelmän suorituskykyyn vaikuttaa itse ohjuksen lisäksi myös esimerkiksi sää, osajärjestelmät ja sensorit. Toisin sanoen: mitä tarkemmin reaali maailman järjestelmien suorituskykyarvot ja ilmiöiden vaikutus tunnetaan, sitä luotettavammin mallinnettavien ilmiöiden suuret voidaan perustaa oletusten sijaan faktoille. Mallien avulla tehty tutkimus myös tuottaa uusia taustatietoja ja parametreja.

Kun itse ohjusjärjestelmä on mallinnettu laite- ja järjestelmätasolla, voidaan mallinnuksen tuloksia hyödyntää muilla tasoilla. Ylemmän tason malleissa ei siten enää tarvitse mallintaa itse ohjusjärjestelmää, vaan ohjusjärjestelmä liitetään alemman tason tuottamina suorituskyykyarvoina taisteluteknisen tason malliin, jolloin ohjusjärjestelmän vaikuttavuutta voidaan mallintaa osana taistelua. Sen lisäksi, että mallinnuksessa käytetään hyväksi alemman tason tuottamia suorituskyykyarvoja, myös ylemmillä tasoilla tarvitaan perustutkimuksella tuotettuja taustatietoja, esimerkiksi käytettyyn taktiikkaan tai tehtäviin liittyen. Ohjusjärjestelmän maallissa aikaan saamaan vaikutukseen liittyy sen oman suorituskyykyyn lisäksi myös maalin ominaisuudet, kuten esimerkiksi maalin suojaustaso. Maalia koskevat suorituskyykyarvot ovat vastaavasti mallinnettu omana kokonaisuutenaan laite- ja järjestelmätasolla ja ainoastaan mallinnuksen tuloksia käytetään hyväksi ylemmällä tasolla.

Mallien käyttö palvelee luonnollisesti varsinaista käyttötarkoitustaan, mutta myös tuottaa tietoa itse mallin soveltuvuudesta ja toimivuudesta. Mallinnustyö ei pääty valmiin mallin käyttöönottoon vaan se jatkuu iteratiivisena prosessina, jossa mallin tuottamien tulosten laadun analysoinnin avulla voidaan kehittää ja parantaa simulaatioiden luotettavuutta ja tarkkuutta.

2.4. Abstraktiotaso

Hierarkiatasojen tarkoituksena on kohdentaa tarkastelu mittakaavaltaan keskeisiin asioihin. Eri hierarkiatasoilla samaa kohdetta ei kuitenkaan voida tarkastella samalla tarkkuudella. Taktis-operatiivisella tasolla on täysin merkityksetöntä, että taistelualuksen keulatykin tulinopeus on 120 laukausta minuutissa. Toisaalta, mallinnettaessa kyseistä tykkiä laite- ja järjestelmätasolla esimerkiksi hankkeen osana, tykin ominaisuuksien pelkistäminen vaikuttavuusarvoksi ”32” ei tuota hankkeelle minkäänlaista lisäarvoa. Oikean abstraktiotason määrittely on yksi mallinnusprosessin keskeisimmistä tehtävistä. Mallin abstraktiotaso muodostuu mallissa käytettävien luokkien abstraktiotasoista. Luokan abstraktiotaso puolestaan riippuu siitä, kuinka paljon erilaisia olioita luokka sisältää. Mitä enemmän luokan oliot poikkeavat toisistaan, sitä matalampi mallin abstraktiotaso on. Vastaavasti, mitä enemmän kohdetta pelkistetään, abstrahoidaan, sitä korkeammaksi abstraktiotaso muodostuu. Otetaan esimerkiksi sotalaivat. Erittäin korkealla abstraktiotasolla kaikkia sotalaivoja voidaan käsitellä samanlaisina. Koska todellisuudessa sotalaivat poikkeavat toisistaan paljon, sotalaivaa ilmentävään olioon on tällöin pakko tehdä pitkälle vietyjä yleistyksiä, kuten se, että ne liikkuvat vedessä ja ne kykenevät tarkkailemaan ympäristöä sekä vaikuttamaan maaleihin. Näin määriteltynä luokat muodostuvat helposti liian yleisluontoisiksi, jolloin niiden semanttinen sisältö jää vähäiseksi. Tällöin saadaan mahdollisesti aikaan erittäin laaja helposti ymmärrettävä malli, joka kuitenkin ei kerro juuri mitään tarkasteltavasta ilmiöstä. [9; 25; 35; 48]

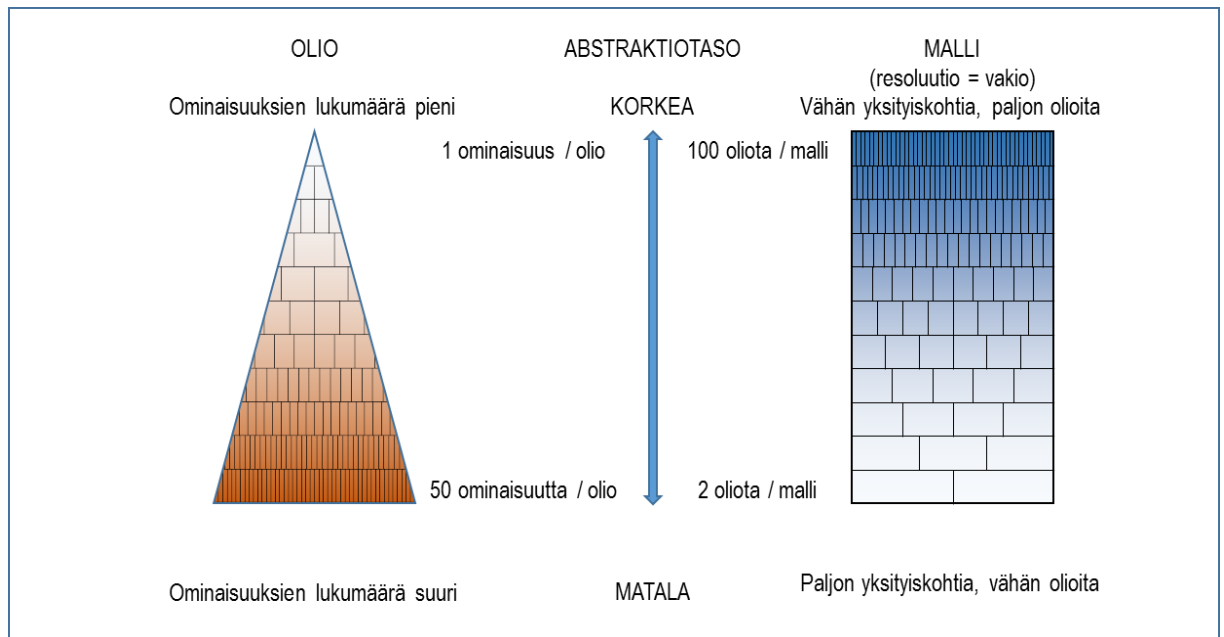
Abstraktiotasoa voidaan madaltaa lisäämällä luokkaan toisistaan poikkeavien olioiden määrää. Valitaan luokan *sotalaiva* alaluokiksi *miinalaiva* ja *ohjusvene*. Miinalaivalla ja ohjusveneellä on molemmilla yhteisiä ominaisuuksia, mutta myös sellaisia ominaisuuksia, joita esiintyy vain omalla alaluokalla. Jatkettaessa abstraktiotason madaltamista voidaan esimerkiksi alaluokka ohjusvene jakaa alaluokan alaluokkaan, eli tyyppin ”A” tai tyyppin ”B” ohjusveneseen. Tarvittaessa jakoa voidaan jatkaa vielä yksilön tarkkuudelle. On huomioitava, että mikäli luokat määritellään liian alhaiselle abstraktiotasolle, lopputulos kuvaa erityisen tarkasti ympäröivää todellisuutta, mutta samalla luokkien ja alaluokkien määrä kasvaa liian suureksi ja mallin yksinkertaistava ja havainnollistava tarkoitus vaarantuu. [9; 48] Esimerkkitapauksessa abstraktiotason määrittelyssä tulisi kiinnittää huomiota siihen, mikä merkitys lopputuloksen kannalta on sillä, tuottiko halutun vaikutuksen sotalaiva, ohjusvene, tyyppin ”A” ohjusvene vai ohjusvene kylkinumeroltaan 123. [25; 48]

Taistelua simuloivat ohjelmat voidaan yleensä jakaa abstraktiotason mukaan joko lavettitason tai yksikkötason simulointiohjelmiin. Lavettitason simulointiohjelmissa taistelevat joukot mallinnetaan aseiden tai lavetin tarkkuudella, esimerkiksi laiva, tykki tai taistelija. Yksikkötason ohjelmissa pienin mallinnettava toimija taistelutilassa on yksikkö, kuten komppania tai pataljoona. [31] Jaottelu ei kuitenkaan ole tarkka, sillä joissain tapauksissa voi olla tarpeen mallintaa sekä joukkoja että yksittäisiä lavetteja samaan simulaatioon. Taulukossa 1 on esitetty, miten lavetti- ja yksikkötason simulointi suhtautuu taisteluiden tasoon, kestoon ja mallinnettavan joukon kokoon.

Taulukko 1: Esimerkki simulaatioiden suhtautumisesta taistelun tasoon [31]

	Taistelun taso	Taistelun taso	Taistelun kesto	Joukon koko
Yksikötasoinen simulointi	Sota	War	Vuosia	Puolustusvoimat
	Sotatoimi	Campaign	Kuukausia	Armeija
	Taistelu	Battle	Viikkoja	Armeijakunta
	Taistelu	Engagement	Vuorokausia	Komppania – divisioona
Lavettitasoinen simulointi	Kahakka	Action	Tunteja	Ryhmä – Pataljoona
	Kaksintaistelu	Duel	Minuutteja	Kaksi ihmistä tai lavettia

Yksi tapa kuvata mallin ja simulaation tarkkuutta on määritellä mallinnustarkkuus eli resoluutio. Resoluutio määrittelee kuinka tarkasti yksityiskohtia esitetään tai käsitellään simulaatiossa ja mallissa. [35] Kuvassa 4 on esitetty olioiden ja ominaisuuksien ja lukumäärän suhde eri abstraktiotasoilla mallissa, jonka resoluutio on vakio kaikilla abstraktiotasoilla.

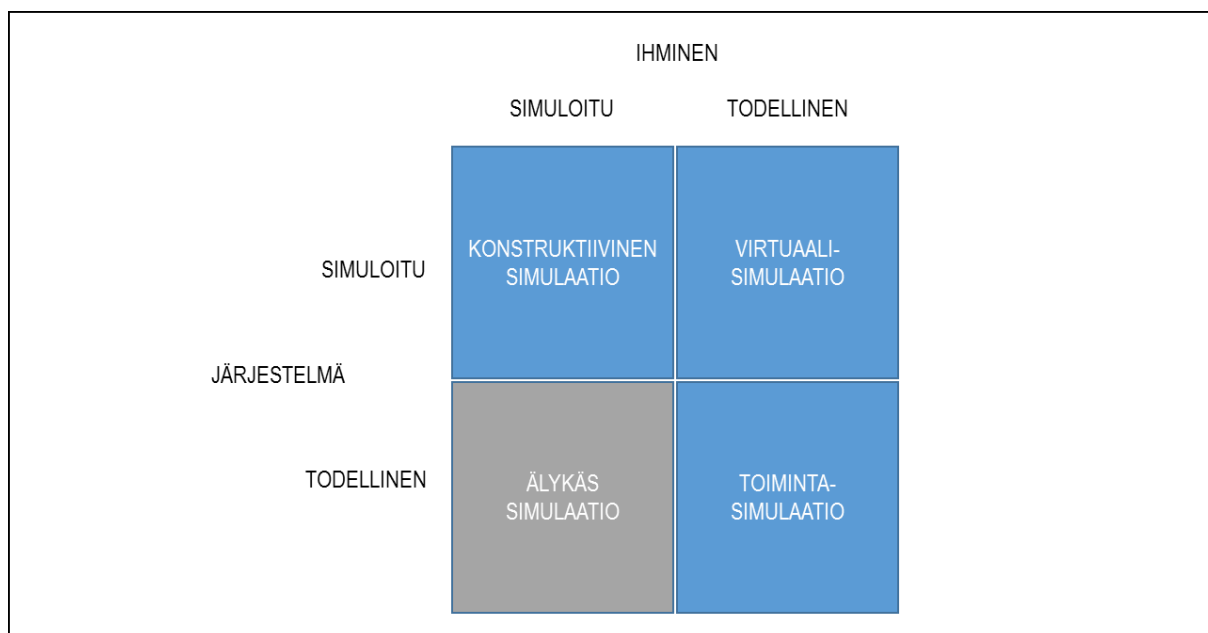


Kuva 4: Mallinnustarkkuus, oliot ja mallit eri abstraktiotasoilla

Esimerkkitapauksessa käytettävissä on täysin tyhjä tietokonepohjainen mallialusta, jossa on mahdollisuus 100 numeroarvon syöttämiseen välillä 0–9. Mallin resoluutio on siis 100 yksikköä. Alhaisella abstraktiotasolla mallinnetaan yksittäinen komponentti, esimerkiksi laivatykki. Laivatykistä voidaan kuvata sataa eri ominaisuutta numeroarvoilla; tulinoisuus, tarkkuus, massa, suuntausnopeus, ja niin edelleen. Ylemmällä abstraktiotasolla mallinnetaan laiva ja käytettävissä on edelleen 100 yksikköä. Vaikka laivatykin merkitys on edelleen korkea, ei sen mallintamiseen enää voida käyttää kuin esimerkiksi kaksi yksikköä: esimerkiksi kantama ja tarkkuus. Loput yksiköt varataan kuvaamaan laivan muita ominaisuuksia. Abstrahointi, eli pelkistäminen, jatkuu samalla periaatteella aina ylimmälle tasolle, jossa tarkastellaan esimerkiksi sotanäyttämön voimasuhteita. Nyt edes sotalaivalle ei ole varattu omaa yksikköä, vaan esimerkiksi koko taisteluosaston suorituskykyä kuvataan kolme yksikköä käsittävällä oliolla: esimerkiksi vaikuttaminen, haavoittuvuus, liikkuvuus. Lopuilla yksiköillä kuvataan muiden taisteluosastojen suorituskykyä.

2.5. Simulaatioiden luokittelu

Simulointi ja erilaiset simulaattorit ovat oleellinen osa modernia sotilaskoulutusta. Simulaatiot ja simulaattorit voivat kuitenkin poiketa toisistaan merkittävästi, eikä simulaatio terminä määrittele, millä tavalla kussakin tapauksessa todellisuutta jäljitellään. Simulaatioiden tarkemmassa määrittelyssä voidaan käyttää Yhdysvaltain puolustusministeriön mukaista jaottelua, jossa simulaatiot jaetaan kolmeen eri luokkaan sen mukaisesti mikä on todellisuuden ja keinotekoisien todellisuuden välinen suhde sekä ihmisen osallistumisen aste. Kolme luokkaa ovat toimitasimulaatio (Live simulation), konstruktiiivinen simulaatio (Constructive simulation) sekä virtuaalisimulaatio (Virtual simulation). [35; 37] Edellisten lisäksi usein käytetään myös neljättä luokkaa, jota kutsutaan älykkääksi simulaatioksi (Smart simulation). [21] Kuvassa 5 havainnollistetaan sitä, mihin luokkiin simulaatiot pääsääntöisesti asettuvat.



Kuva 5: Havainne kuva simulaatioiden luokittelusta [21]

Konstruktivisessa simulaatiossa sekä operoivat järjestelmät että ihmiset ovat simuloituja ja simulaatio etenee ilman ihmisen vuorovaikutusta. Ihminen ohjaa simulaatioprosessia asettamalla simulaatiossa käytettävät parametrit tai antamalla mallille aika ajoin syötteitä. [8] Konstruktivistista simulointia käytetään useimmiten erityyppisissä sotapeleissä, taistelun mallinuksissa ja analysointityökaluna. [35] Konstruktivisessa simuloinnissa kaikki toimijat ja tapahtumat simuloidaan, ja ihminen ainoastaan ohjaa prosessia ja tulkitsee simulaation tuottamia tuloksia. [16; 38] Koska simulaation aikana ihmistä ei tarvita prosessin etenemiseen, simulaatioita voidaan toistaa useita kertoja ja simulaatioista saadaankin usein kvantitatiivisia tuloksia. [21]

Toimintasimulaatiossa todelliset ihmiset operoivat todellisia järjestelmiä oikeassa, tai oikean kaltaisessa, toimintaympäristössä. [37] Esimerkiksi sotaharjoitusta voidaan pitää toimintasimulaationa, jossa mahdollisimman todenkaltaisissa olosuhteissa harjoitellaan sodankäyntiä. Toimintasimulaatioita käytetään usein testaamaan ja todentamaan konstruktivistien ja virtuaalisten simulaatioiden avulla saatuja tuloksia. [21; 44] Esimerkkinä toimintasimulaatiosta on KASI-järjestelmä (kaksipuolinen taistelusimulaattori), jossa tulitoiminta simuloidaan aseisiin ja taistelijoihin kiinnitetyillä lähettimillä.

Virtuaalisella simulaatiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa todelliset ihmiset operoivat simuloituilla järjestelmillä simuloitussa ympäristössä. Tällaisia ovat esimerkiksi lentosimulaattorit, asejärjestelmäsimulaattorit ja tutkasimulaattorit. Virtuaalisissa simulaatioissa keskeistä on operoivan ihmisen harjoittaminen. Harjoittelu voi olla motorista (esimerkiksi lentosimulaattori), päätöksen teon harjoittelua (esimerkiksi taistelunjohtosimulaattori) tai vaikka esimerkiksi viestintätaitojen harjoittelua (viestiverkkosimulaattori). [16; 37; 38] Simuloinnin edut korostuvat silloin, kun on tarve harjoitella asioita, joita koulutukseen sisältyvien riskien, ympäristöhaittojen, puutteellisten harjoitusolosuhteiden tai käytössä olevien resurssien vuoksi ei normaalioloissa olisi mahdollista tehdä. Simulaatiopohjaisen koulutuksen avulla voidaan pienentää henkilöstön ja kaluston vahingoittumisriskiä sekä saavuttaa merkittäviä säästöjä henkilöstö-, polttoaine- ja materiaalikuluissa. [31; 57] Simulaatioille perustuvissa harjoituksissa taistelutilan olosuhteet voidaan mallintaa kaikkiin sääolosuhteisiin sekä vuoden- ja vuorokaudenaikoihin. Harjoitusten vaikeustasoa voidaan säädellä koulutettavan joukon koulutustason mukaan, ja harjoitukset voidaan toistaa identtisinä tai niitä voidaan muunnella. [31; 38]

Älykkäässä simulaatiossa simuloitu ihminen tai järjestelmä käyttää todellisia järjestelmiä. Tällaisia älykkäitä simulaatioita voidaan käyttää esimerkiksi järjestelmien testaamiseen silloin, kun ihmisen osallistuminen on liian vaarallista tai se ei ole kustannustehokasta. Simulaattori voidaan esimerkiksi asettaa rasittamaan taistelujärjestelmää jatkuvilla komennoilla niin pitkäksi ajaksi, ettei todellinen ihminen siihen kykenisi.

Erilaisia simulaatioita ja simulaattoreita voidaan jakaa ryhmiin myös niiden käyttötavan perusteella. Esimerkiksi Puolustusvoimien teknillisen tutkimuslaitoksen (1.1.2014 alkaen Puolustusvoimien tutkimuslaitos) julkaisussa *Taistelun ja logistiikan simulointi* erityyppiset simuloinnit jaotellaan seuraavasti [31]:

- harjoittelu (live rehearsal, live training tai live simulation)
- keinotodellisuus (virtual reality tai virtual simulation)
- viihde
- sotapelaaminen
- tapahtumapohjainen simulointi (discrete event simulation)
- järjestelmäanalyysi (system analysis)
- järjestelmäintegrointi (integration)

Teknillisen tutkimuslaitoksen jaottelu on osin yhteneväinen Yhdysvaltain puolustusministeriön jaottelun kanssa. Esimerkiksi harjoittelusimulointi on määritelty tarkoittamaan todentuntuisten harjoitusten järjestämistä oikeilla välineillä ja ihmisillä (toimintasimulaatio), ja keino-todellisuudella tarkoitetaan mahdollisimman aidon tuntuista virtuaalista ympäristöä, jossa ihminen toimii (virtuaalisimulaatio). [31; 35]

Teknillinen tutkimuslaitos nostaa yhdeksi merkittäväksi simuloinnin käyttötavaksi viihteen. Tämä osa-alue sisältää kaupalliset tietokonepelit ja muun viihdeteollisuuden tuotteet. Käyttötapa on usein hyvin läheisesti kytköksissä keino-todellisuuteen, ja ryhmään kuuluvissa sovel-luksissa toimijat ovat lähes poikkeuksetta aitoja, mutta ympäristö ja vaikutukset ovat aina simuloituja. [31]

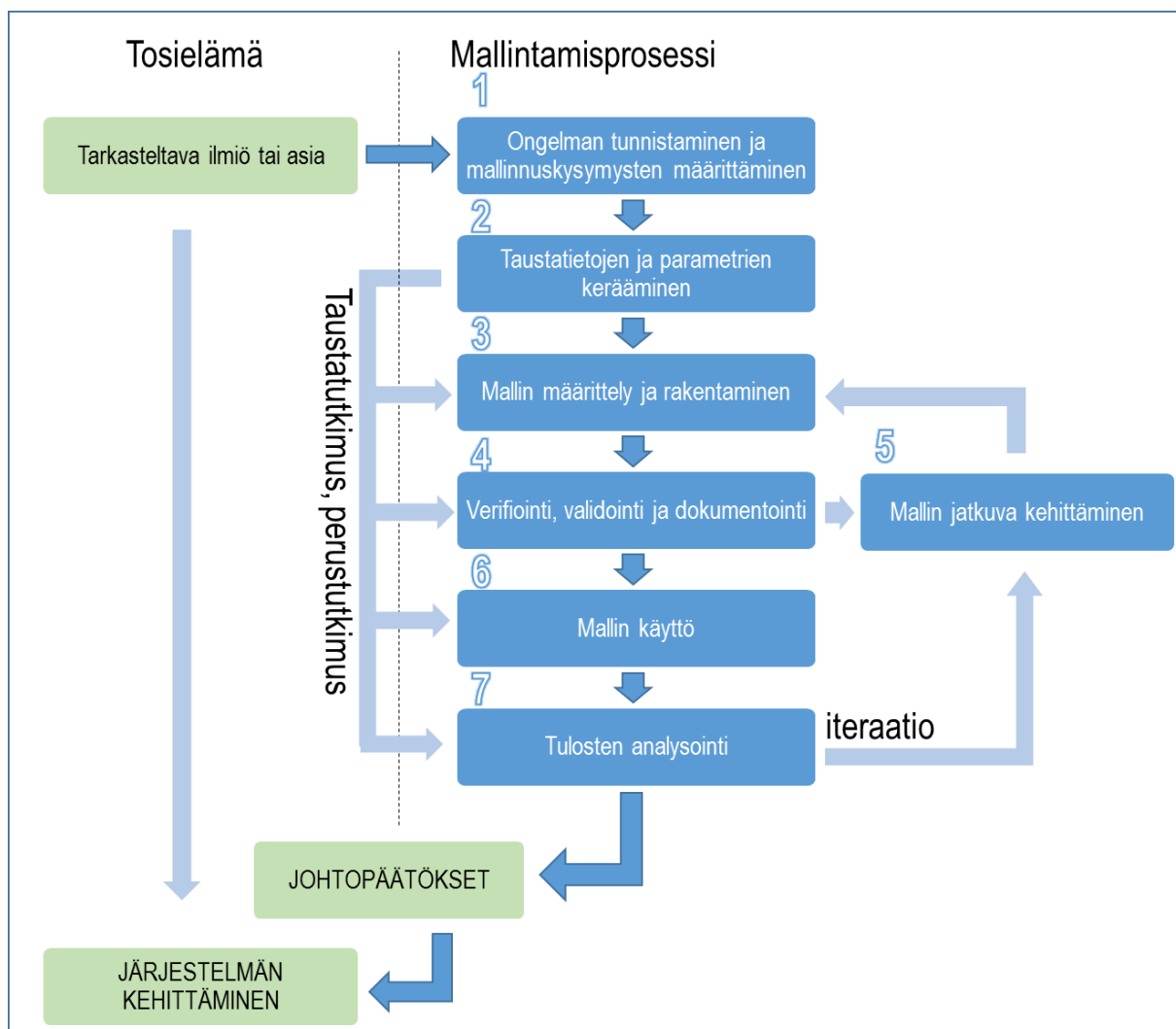
Tapahtumapohjainen simulointi pohjautuu yksittäisiin, erotettaviin tapahtumiin, jotka muuttavat mallin tilaa. Tapahtumien väliaikana mallin tila pysyy muuttumattomana. Tapahtumapoh-jaista simulointia käytetään laajojen järjestelmien käyttäytymisen analysoinnissa. Tyypillisesti tapahtumapohjainen simulointi toteutetaan konstruktii-visena simulaationa. [31]

Järjestelmäanalyysisimulointia käytetään selvittämään järjestelmän tai laitteen toimintaa. Jär-jestelmäanalyysisimulaatioiden mallit ovat yleensä jatkuva-aikaisia malleja, joita käytetään jatkuvassa muutoksessa olevien prosessien mallintamiseen. Myös järjestelmäanalyysisimulaa-tiot toteutetaan pääsääntöisesti konstruktivistisina, mutta simulaatio voidaan toteuttaa myös älykkäänä simulaationa, jolloin todellisia laitteita testaa simuloitu käyttäjä. Esimerkkinä jär-jestelmäanalyysisimulaatiosta on ohjuksen hakupään toiminnan simulointi. [31]

Järjestelmäintegroinnilla tarkoitetaan kaikkien edellä mainittujen käyttötapojen, järjestelmien, laitteiden, ihmisten ja simulaatioiden yhdistelmää. Järjestelmäintegrointia on muun muassa High Level Architecture (HLA), jossa yhdistetään useita erilaisia taistelusimulaattoreita ko-konaisuudeksi, joka mahdollistaa erityyppisten joukkojen harjoittelun yhdessä. [31]

2.6. Ongelman ratkaisu mallintamisen avulla

Ongelman ratkaisu mallintamisen avulla jakautuu loogisesti eteneviin vaiheisiin, jotka muo-dostavat mallintamisprosessin. Eri vaiheilla on kullakin oma merkityksensä tason, mallin-nusmenetelmän, mallin tyyppin ja luokan muodostumisessa. Vaiheiden lukumäärä ja järjestys vaihtelee hieman eri lähteissä, mutta mallintamisprosessin perusajatus on kuitenkin yhte-neväinen. [31; 32; 52] Mallintamisprosessin vaiheet on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6: Mallintamisprosessi

Ensimmäinen vaihe on ongelman tunnistaminen ja mallinnuskysymysten määrittely. Tämä vaihe näyttelee keskeistä roolia koko mallintamisen onnistumisen kannalta. Ongelman määrittelyvaiheen lopputuotteena tulisi kyetä muodostamaan mallinnuskysymys, johon mallinnuksen avulla haetaan vastausta. Optimitilanteessa mallinnuksen ensimmäinen vaihe etenee vaatimustenhallintaprosessin kaltaisesti. Tällöin mallinnuskysymysten määrittelyssä ei vielä tarvitse ottaa kantaa siihen, miten mallinnus toteutetaan. Menetelmän valinta voi muuten ohjata prosessia, vaikka sen pitäisi palvella sitä. Sotilaallisessa viitekehyksessä ratkaistavat ongelmat voivat liittyä esimerkiksi taistelun lopputuloksen arviointiin, tarvittavien suorituskykyjen määrittämiseen, vaihtoehtojen vertaamiseen tai suunnitelmien testaamiseen. [31; 32]

Mallinnusprosessin toinen vaihe on taustatietojen ja parametrien kerääminen. Vaiheen tarkoituksena on kerätä informaatiota mallinnettavien ilmiöiden tosielämän vastineista ja määrittellä mallin tarvitsemia parametreja. Parametrien hankinnassa voidaan käyttää hyödyksi erilaisia kenttä- tai laboratoriokokeita. Tietoa voidaan etsiä myös erilaisista lähteistä, kuten lehdistä, julkaisuista, internetistä tai tutkimusraporteista. Kaikkia parametreja ei kuitenkaan välttämättä voida selvittää varmasti. Tällöin joudutaan usein luottamaan valmistajien ilmoituksiin tai asiantuntija-arvioihin. Taustatietojen ja parametrien kerääminen jatkuu koko mallinnusprosessin ajan ja tiedot voivat tarkentua prosessin edetessä. [31; 32] Kuten alaluvussa 2.3 tuli ilmi, taustatiedot ja parametrit muodostavat perustan koko mallinnushierarkialle.

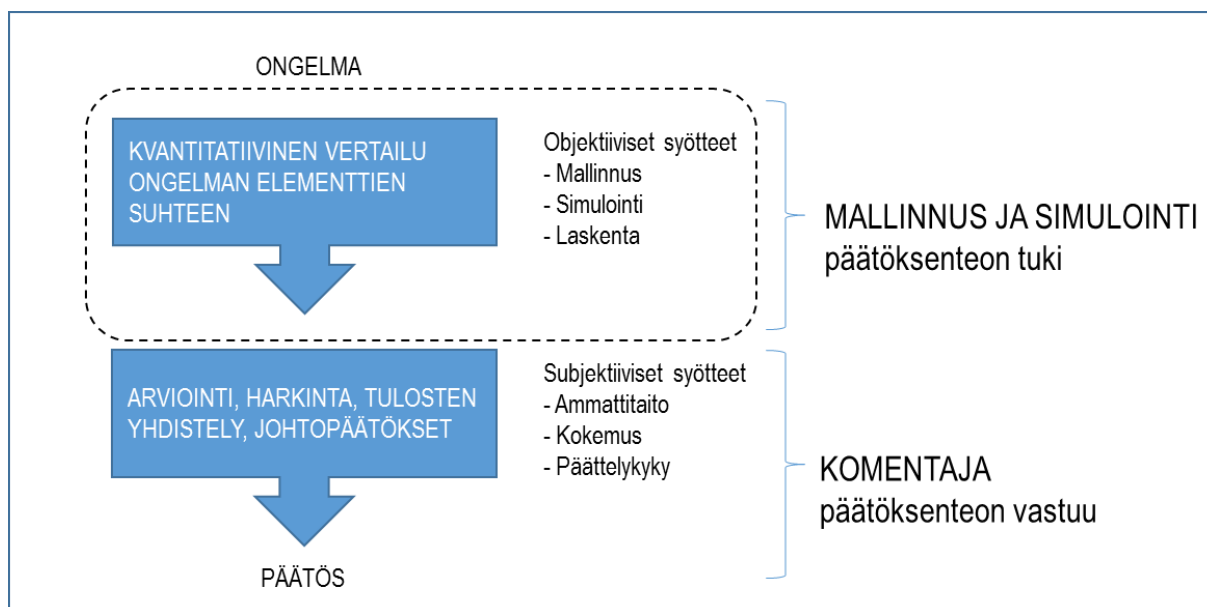
Kolmannessa vaiheessa käynnistyy varsinainen mallin määrittely ja rakentaminen. Vaiheessa määritetään ongelmanratkaisun kannalta keskeiset tekijät ja niiden keskinäiset vuorovaikutussuhteet. Toisin sanoen tässä vaiheessa määritetään ne asiat ja ilmiöt, joista mallinnuskysymyksen vastaus on riippuvainen. Tämä vaihe ongelmanratkaisussa on erittäin kriittinen. Haasteelliseksi vaiheen tekee kaikkien tekijöiden huomioiminen ja merkityksellisyyden arvioiminen. Yhtään merkityksellistä asiaa tai ilmiötä ei voi jättää huomioimatta, mutta niiden suuri lukumäärä johtaa väistämättä kasvavaan abstrahointiin. Samoin vähämerkityksellisten tekijöiden keskinäisestä vuorovaikutuksesta johtuvien yhteisvaikutusten tunnistaminen ja huomioiminen asettaa haasteita. Mallin määrittelyn aikana tulisikin ensin tunnistaa kaikki ongelmanratkaisuun vaikuttavat tekijät riippumatta niiden merkityksellisyydestä tai keskinäisistä suhteista. Tämän jälkeen tekijät tulisi ryhmitellä merkityksellisiin, vähämerkityksellisiin ja merkityksettömiin tekijöihin. Vähämerkityksellisiä tekijöitä tarkasteltaessa tulisi niistä etsiä yhteistä nimittäjää, joka voisi kokonaisuutena nostaa joukon vähämerkityksellisiä tekijöitä yhdeksi tai useammaksi merkittäväksi tekijäksi. Merkittävien tekijöiden, asioiden tai ilmiöiden lukumäärä vaikuttaa mallin abstraktiotasoon: mitä enemmän mallinnettavia tekijöitä, sitä pelkistetympiä olioita niistä rakennetaan. Viimeistään mallin rakentamisvaiheessa on tiedettävä, miten mallia aiotaan käyttää. Tuleeko mallista esimerkiksi staattinen vai dynaaminen tai stokastinen vai deterministinen. Lisäksi mallin rakentamiseen vaikuttaa mallin avulla tehtävän simulaation luokka. Mallinnetaanko toimintaympäristö, ihminen vai molemmat? Joissain tapauksissa voidaan hyödyntää jo olemassa olevia malleja, joko sellaisenaan, muuttamalla niiden toimintaa tai luomalla malliin uusia olioita. [31; 32]

Mallin rakentamisen jälkeen siirrytään neljänteen vaiheeseen, eli verifiointiin ja validointiin. Vaihe käynnistyy jo mallin rakentamisen aikana, jolloin mallia todennetaan, eli verifioidaan. Käytännössä testaustoiminnan avulla pyritään varmistamaan mallin toiminta ja löytämään mahdolliset tekniset virheet, (eli tuliko mallista sellainen kuin siitä piti tulla). Kun mallin tekninen toimivuus on testattu, varmistetaan mallin kelpoisuus ongelman ratkaisemiseen, eli malli validoidaan. Koska mallien ja simulaatioiden avulla pyritään usein selvittämään asioita, joita ei tunneta, edellyttää mallin kelpoisuuden varmistaminen ymmärtämystä mallinnettavien tekijöiden välisistä vuorovaikutussuhteista. Yksi keino varmentaa mallin kelpoisuutta on esimerkiksi tarkastella tunnettujen tapahtumien käyttäytymistä mallissa ja verrata tuloksia todellisuuteen. Toisaalta sotilaallisessa viitekehyksessä tapahtumat ovat usein ainutkertaisia, eikä esimerkiksi suomalaisen toimintaympäristöön löydy helposti soveltuvia todellisia tapahtumia. [31; 32]

Mallintamisprosessin viides vaihe, mallin jatkuva kehittäminen, tapahtuu iteratiivisena prosessina, jossa mallin määrittelyn testaamisen ja käytön yhteydessä saatuja kokemuksia hyödynnetään mallin kehittämisessä. [31; 32]

Kun mallin luotettavuus on varmistettu, siirrytään käyttöönottovaiheeseen, jossa mallia käytetään suunnitelman mukaisesti. Mallin tyypistä riippuen – joko mallia käyttämällä, tarkkailemalla tai siinä tehtyjen simulaatioiden tuloksia tarkastelemalla – voidaan tehdä analyyseja ja johtopäätöksiä tarkasteltavasta kokonaisuudesta. [31; 32]

Mallintaminen ja simulointi toimivat kuitenkin vain päätöksenteon ja harjoittelun työkaluna ja siten siis muodostavat vain osan ongelmanratkaisuprosessista. Kaikkein tärkeimmässä roolissa ovat simulaatioiden tulosten tulkitsijat, joiden tehtävänä on tuoda prosessiin mukaan inhimillinen ammattitaito ja näkemys. Kuvassa 7 on esitetty mallinnuksen ja simuloinnin rooli osana päätöksentekoa.



Kuva 7: Mallinnuksen ja simuloinnin rooli päätöksenteossa

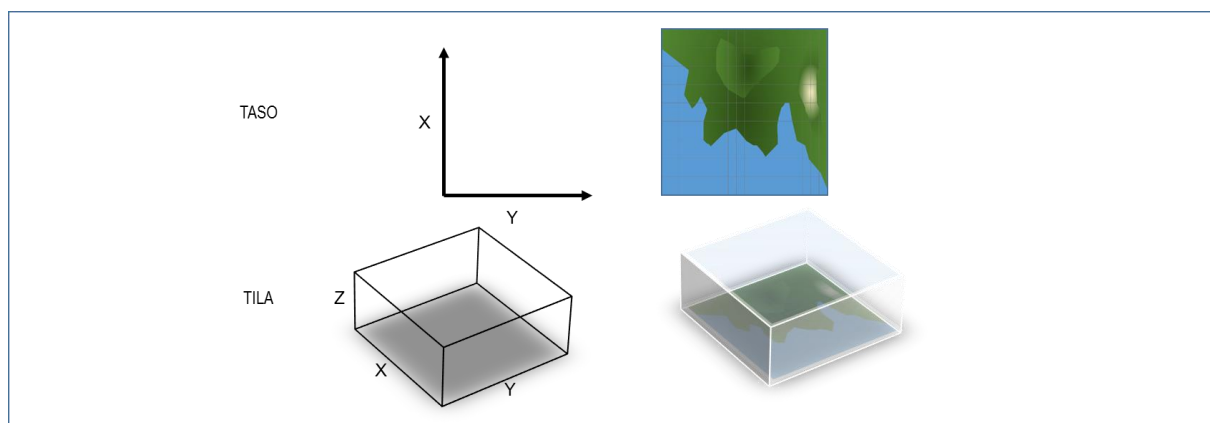
3. MERELLINEN TAISTELUTILA

Tässä luvussa pyritään vastaamaan ensimmäiseen alakysymykseen: Millainen on merellinen taistelutila, joka on tarkoitus mallintaa? Kysymykseen vastataan sekä käsiteanalyysin avulla että kirjallisuustutkimuksen perusteella. Luvun tavoitteena on löytää merellisen taistelutilan keskeiset elementit, ja tarkoituksena on kuvailla mallinnettavaa kokonaisuutta teoreettisesti.

3.1. Käsiteanalyysi

Käsitteestä ”Merellinen taistelutila” on erotettavissa kolme osaa: merellinen, taistelu ja tila. Käsitteen merkitsevänä osana toimii sana tila, jota sanat taistelu sekä merellinen tarkentavat.

Tila. Substantiivina tila tarkoittaa fyysikaalista avaruutta, johon aine on fyysisesti levittäytynyt. Tilassa kappaleilla ja tapahtumilla on suhteellinen paikka toisiinsa nähden [56]. Toisin sanoen tilassa on aina kolme fyysistä ulottuvuutta X, Y ja Z, kun tasossa on vain kaksi ulottuvuutta X ja Y. Muutokset tilassa edellyttävät neljännen ulottuvuuden, ajan lisäämistä. Kuvas-
sa 8 on esitetty tilan ja tason välinen ero.



Kuva 8: Tason ja tilan ulottuvuudet

Taistelu. Taistelu on sodankäynnin tapahtuma, jossa osapuolet pyrkivät vaikuttamaan toisiinsa tavoitteena on voittaa toinen osapuoli. Taistelu on aina ajallisesti ja alueellisesti rajattu tapahtuma. Englanninkielessä taistelulle voidaan löytää useita erilaisia käännöksiä riippuen taistelun laajuudesta, battle, combat, struggle, fight ja niin edelleen. Suomenkielessä termi taistelu ei suoraan kerro yhteenoton laajuutta. Suomenkielessä on käytännössä kaksi yhteenottoa kuvaavaa sanaa kahakka ja taistelu, joista kahakka voisi tarkoittaa muutaman tai korkeintaan muutaman kymmenen hengen lyhyttä yhteenottoa. Taistelu voi laajuudeltaan tarkoittaa suomenkielessä mitä tahansa joukkueiden yhteenotosta puolustusvoimatason taisteluihin. Taistelun laajuutta tai tyyppiä kuvataankin suomenkielessä lisäämällä siihen jokin etuliite, kuten torjunta-, meri- tai ratkaisutaistelu. Taistelu voi päättyä joko jommankumman osapuolen voittoon tai ratkaisemattomana.

Merellinen. Adjektiivi merellinen kuvaa joko ominaisuutta, joka on meren kaltainen tai merta fyysisenä osana ominaisuutta. Sana merellinen ei siis sulje pois sitä, että substantiivissa, jota adjektiivi tarkentaa ei olisi muita ominaisuuksia. Meri ja/tai sen ominaisuudet ovat kuitenkin määrääviä. Merellisiin ominaisuuksiin kuuluvat keskeisinä merivesi sekä sitä rajoittava allas. Altaan reunat muodostavat pohjan, rannat ja merenpinnan. Tyypillisiä merellisiä ominaisuuksia ovat vaihtelevat sääolosuhteet. Meret jakautuvat valtameriin, mannerten välisiin välimeriin, saariryhmien erottamiin reunameriin sekä mannerten sisälle ulottuviin sisämeriin, joiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan merkittävästi. [55]

3.2. Taistelukentästä taistelutilaan

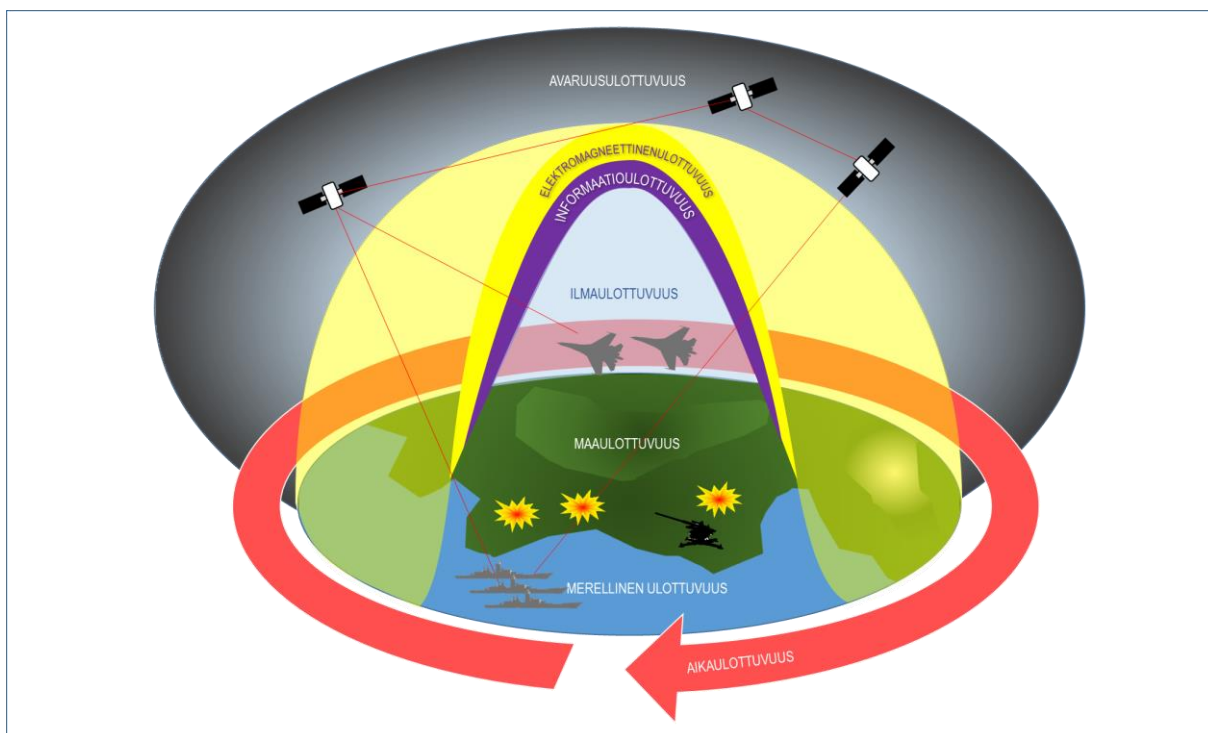
Taistelukenttä, englanniksi battlefield, kuvaa nimensä mukaisesti paikkaa, jossa taistellaan. Terminä kenttä on vahvasti sidottu rajattuun, tietynlaiset ominaisuudet omaavaan maa-alueeseen. Taistelukentän etymologia juontaa juurensa aikaan, jolloin taisteluun ryhtyminen edellytti siihen sopivaa aluetta. Jotta joukkoja voitiin hallita, piti johtajien kyetä näkemään kaikki taistelukentän tapahtumat. Kentällä suuria sotilasjoukkoja ohjattiin kohtaamistaisteluun, ja usein taistelu oli luonteeltaan kulutusotaa, jossa lopputuloksen ratkaisi pääsääntöisesti joukkojen lukumäärä. Taistelukentän ulottuvuudet ovat rajalliset ja käsittävät lähinnä itse maa-alueen ja siinä taistelevat joukot. Uusien asejärjestelmien kehittyminen vaikutti myös siihen, että taistelukenttä kävi liian ahtaaksi, jotta kaikki toimintaympäristöön taistelun voittamisen kannalta olennaiset ilmiöt ja tapahtumat mahtuisivat siihen. Sodankäynnin kompleksisuus pakottaa määrittelemään taistelukenttään ulottuvuuksia. Ensimmäinen maailmansota toi taistelukenttään uusia ulottuvuuksia. Ensin taistelukentän ulottuvuudet kasvoivat fyysisissä ulottuvuuksissa, kun aiemmin kaksiulotteinen taistelukenttä sai myös vertikaaliulottuvuuden. Merellisellä taistelukentällä kentän ulottuvuus kasvoi alaspäin, kun sukellusvene uutena asejärjestelmänä otettiin käyttöön. Samoin kasvoi maalla oleva taistelukenttä ylöspäin, kun lentokone otettiin käyttöön. Periaatteessa kaksiulotteisen tarkastelun muuttaminen kolmiulotteiseksi muuttaa samalla tason tilaksi. Toisaalta ensimmäisen maailmansodan ulottuvuuksien lisääminen ei käytännössä vielä johtanut siihen, että kolmannella ulottuvuudella olisi ratkaisevaa merkitystä tapahtumiin tasossa. Ensimmäisen maailmansodan taistelutilan ulottuvuuksien voidaankin sanoa olleen rajoittuneita, vaikka sotaa käytiin 1900-luvun tekniikalla, koska taktiikka oli peräisin 1800-luvulta.

Toinen maailmansota vahvisti vertikaaliulottuvuuden merkitystä, kun ilma-aseen käyttö kehittyi sekä teknisesti että taktisesti. Ilma-aseella oli suoraan vaikutusta sekä merelliseen että maa-ulottuvuuteen, ja ilma-aseesta kaavailtiin myös lopputuloksen kannalta ratkaisevaa asejärjestelmää. Myös tekniikan kehittyminen toi taistelukenttään mukaan lisää ulottuvuuksia. Tutkan ja kaikumittaimen kehittyminen todellisiksi sodankäynnin järjestelmiksi pakottivat elektromagneettisen ulottuvuuden huomioimisen. Taistelukenttä alkoi muuttua taistelutilaksi. Kamppailu elektromagneettisen spektrin hallinnasta johti myös pelkästä tarkkailusta aktiiviseen vaikuttamiseen. Lisäksi informaatioulottuvuus sai toisessa maailmansodassa myös merkittävän roolin yhtenä taistelutilan ulottuvuuksista.

Toisen maailmansodan jälkeen taistelutilan ulottuvuudet ovat voimistuneet ja vakiinnuttaneet asemansa. Vertikaaliulottuvuudet ovat kasvaneet, ja ilma-ulottuvuuteen on tullut lisäksi avaruudellinen ulottuvuus.

3.3. 2000-luvun taistelutilan ulottuvuudet

Britannian asevoimat määrittelee 2000-luvun taistelutilan vuonna 2008 laaditussa doktriinissa *Battlespace Management* (JDP 3-70). Doktriinin mukaan taistelutila kattaa kaikki yhteisen operaatioalueen osa-alueet, jossa sotilaallinen toiminta tapahtuu (kuva 9). Taistelutila muodostuu seitsemästä ulottuvuudesta, joita ovat: merellinen, maa-, ilma-, avaruus-, informaatio-, sähkömagneettinen ja aikaulottuvuus. Yhtäkään taistelutilan ulottuvuutta ei voi tarkastella erillään, koska ulottuvuuksilla on toisistaan erottamattomia vuorovaikutussuhteita. [3]



Kuva 9: Taistelutilan seitsemän ulottuvuutta

Merellinen ulottuvuus. Meri peittää 70 % maapallon pinta-alasta ja sen pystyulottuvuus on veden pinnasta alas merenpohjaan. Meri muodostaa merkittävän osuuden taistelutilasta, ja se tarjoaa suoran yhteyden 150 rantavaltioon. 70 % maailman väestöstä asuu 100 kilometrin etäisyydellä rannikosta ja 80 % maailman kaupungeista on sijoittunut alle 200 km:n etäisyydelle merestä. Taistelutila sisältää todennäköisesti meri- ja / tai ranta-alueita. [3]

Maaulottuvuus. Maankuori on näkyvillä 30 % maapallon pinta-alasta ja käsittää erilaisia ympäristöjä tasaisesta aavikosta ikijään peittämiin alueisiin sekä tiheistä viidakoista ja metsiköistä korkeisiin vuoristoalueisiin. Koska kasvava osuus maailman väestöstä asuu kaupungeissa, taistelutila sisältää todennäköisesti kaupunkialueita. [3]

Ilmaulottuvuus. Ilmatila peittää koko maapallon pinnan. Lähes kaikki taistelutilan tekijät hyödyntävät ilmaulottuvuutta, joko lentämällä ilma-alusta tai miehittämätöntä ilma-alusta tai toimittamalla aseita sen kautta. [3]

Avaruusulottuvuus. Avaruusulottuvuuden ja ilmaulottuvuuden välillä ei ole olemassa selkeää fyysistä rajaa. Avaruusulottuvuus onkin lähinnä toiminnallinen, ja käytännössä se tarkoittaa maan kiertoradalla olevien tiedustelu-, viestintä-, suunnistus- tai sääsatelliittien käyttöä. [3]

Informaatioulottuvuus. Informaatiolla tarkoitetaan faktoja, dataa tai ohjeita, kaikissa muodoissaan [20]. Taistelutilan informaatioulottuvuus sisältää koko taistelutilan tilannetietoisuuteen liittyvät osakokonaisuudet, kyberavaruus mukaan lukien. Informaatioulottuvuuden hallinta vaatii kehittyneiden tietotekniikkajärjestelmien ja tiedonsiirtomenetelmien käyttöä. Informaation hallinta mahdollistaa tiedon hyödyntämisen tehokkaan päätöksenteon tueksi. [3]

Elektromagneettinen ulottuvuus käsittää elektromagneettisessa spektrissä (EMS) tapahtuvat ilmiöt sekä niiden vaikutuksen. Elektromagneettinen ulottuvuus on eri taajuuksalueita hyödyntävien sotilaallisten lähteiden tai lavettien voimankäytön tuotos. Elektromagneettinen ulottuvuus voi vaikuttaa suoraan joko taistelutilassa oleviin joukkoihin tai järjestelmiin. Sitä voidaan hyödyntää taistelutilassa olevien kohteiden ilmaisemisessa. [7] Elektromagneettinen ulottuvuus tunkeutuu muihin fyysisiin ympäristöihin vaikuttaen niiden ominaisuuksien asettamisessa rajoissa (esimerkiksi tutkasäteet tai valon eteneminen). Toisaalta elektromagneettinen ulottuvuus on myös haavoittuvainen olemalla verrattain helppo häiritä tai estää. Vaikka sen ulottuvuuksia rajoittavat fysiikan lait, sitä eivät rajoita maanpäälliset rajat ja se on vapaasti käytettävissä missä ja mihin tahansa. Lisäksi se ei vain läpäise muita taistelutilan ulottuvuuksia, vaan ulottuu myös taistelutilan rajojen ulkopuolelle. [3]

Aikaulottuvuus. Kun muut ulottuvuudet kuvailevat sitä, missä tai mitä tapahtuu, aika on toiminnallinen ulottuvuus, joka määrittelee milloin tai kuinka kauan tapahtuma on voimassa. Aika ulottuvuus on välttämätön elementti toisissa ulottuvuuksissa tapahtuvalle muutokselle. Aika ohjaa toisten ulottuvuuksien toimintaa synkronoimalla tai jaksottamalla tapahtumia tai ilmiöitä. Ajanhallinta, tapahtumien ajoituksen ja keston hallinta referenssiaikaan sitoen, on keskeinen osa taistelutilan hallintaa. [3]

3.4. Merellisen taistelutilan keskeiset elementit

Keskeisten elementtien tunnistaminen on yksi tärkeimmistä mallintamisprosessin vaiheista. Tässä alaluvussa tarkastellaan merellisen taistelutilan keskeisiä elementtejä eri näkökulmista. Taistelutilan määrittäminen pelkkien ulottuvuuksien perusteella ei vielä anna riittävää kuvaa siitä, mitä kokonaisuuksia merelliseen taistelutilaan kuuluu. Ulottuvuuksien lisäksi taistelutilaa tarkastellaan taisteluun vaikuttavien tekijöiden näkökulmasta.

Tutkimuksessa *Taistelunkuva muutoksessa – taistelukentästä taistelutilaan* (toim. M. Huttunen 2009) tarkastellaan taistelutilaa myös siinä esiintyvien ilmiöiden näkökulmasta. Taistelutilaa mallinnettaessa on otettava huomioon taistelutilan ja taistelun kehitystrendi, jonka mukaan pelkkä sotavoiman kulutukseen perustuva sodankäynti ei ole hyväksyttävissä. Taistelussa joukkoja pyritään säilyttämään, eikä niitä uhrata tai kuluteta loppuun päämäärään pääsemiseksi. [13] Taisteluun vaikuttavia tekijöitä Huttusen mukaan ovat:

- taktiikka
- suoja
- liike
- elektroninen vaikuttaminen
- miinoittaminen
- epäsuora tuli
- suora-ammunta
- ohjautuvat asejärjestelmät
- ilma-ase
- tilannekuva, johtaminen, viestitoiminta, huolto
- koulutus, valmistautuminen, inhimilliset tekijät
- aika

Taisteluun vaikuttavien tekijöiden luettelo tukee myös merellisen taistelutilan määrittelyä. Toisaalta tekijät, joka ovat voimassa maalla tapahtuvassa taistelussa, eivät esiinny samanlaisina merisodankäynnissä. Esimerkiksi taktiikassa on huomioitava, että merta ei voi linnoittaa eikä piirittää. Merisodankäynnissä ei myöskään käytetä reservejä siten kuin ne ymmärretään maasodankäynnissä. [26] Merisodassa taisteluiden luonne on erityyppinen: siinä missä maaoperaatiolla torjutaan ja lyödään maahyökkäykset, merioperaatioiden tavoitteena on saavuttaa merenhallinta [23].

Merivoimien upseeriston näkemystä merellisen taistelutilan keskeisistä elementeistä selvitetiin ”Merellisen taistelutilan käyttäjävaatimukset”-tutkimuksessa. Tutkimuksessa kysyttiin, mitä suureita mallin tulisi esittää, eli mitkä ovat ne taistelutilan osatekijät, joiden vaikutusta ja esiintymistä hahmottamaan mallia tarvitaan. Kyselyn perusteella keskeiset tekijät voidaan karkeasti jakaa kolmeen luokkaan: vaikutukseen ja vaikuttajiin, tilannekuvaan ja johtamiseen sekä ympäristöön ja olosuhteisiin. Merivoimille tyypillisten asejärjestelmien, kuten ohjusten, merimiinojen ja rannikkotykistön mallintamisen tärkeydestä vallitsi vastaajien kesken lähes täydellinen yksimielisyys. [49] Merisodankäynnille on ominaista joukkojen vähäinen lukumäärä ja suuri tulivoima. Samaan yksikköön on usein yhdistetty useita erilaisia taistelujärjestelmiä, ja yksiköt asejärjestelmineen ovat omine sensoreineen kykeneviä itsenäiseen taisteluun.

Valvonta-, tilannekuva- ja johtamisjärjestelmien mallintamista koskevat näkemykset ovat samansuuntaisia asejärjestelmien mallintamisesta saatujen vastausten kanssa. Vastausten perusteella elektromagneettinen spektri nähdään kiinteänä osana taistelutilaa ja sen mallintaminen koetaan tärkeäksi. Tärkeimmäksi mallinnettavaksi kokonaisuudeksi nousivat tutkajajärjestelmät ja elektronisen sodankäynnin järjestelmät. Merellisessä taistelutilassa tämä on luonnollista, koska toimintaympäristön avonaisuus ja pitkät etäisyydet suosivat erilaisten järjestelmien käyttöä. Merivoimien upseeriston mielestä johtamisen viestiyhteyksiä pidettiin merkittävänä taisteluun vaikuttavan tekijänä, jonka mallintamisen tärkeys korostui vastauksissa. [49]

Merellisen taistelutilan merellistä ulottuvuutta mallinnettaessa tulisi Merivoimien upseeriston mielestä mallintaa maaston muodot, merenpohjan muodot, sääolosuhteet sekä kulkuväylät. Toisaalta rakennelmien ja maastoesteiden mallintamista ei kuitenkaan pidetty kovinkaan tärkeänä. Vastausten perusteella vaikuttaa siltä, että vastaajat näkevät Merellisen taistelutilan mallin perusrakenteen kaksi- tai kolmiulotteisena karttana toiminta-alueesta, johon voidaan tarvittaessa lisätä elementtejä, kuten sääolosuhteita tai kulkuväyliä. Rakennelmien merkitys taistelutilan havainnollisuuden kannalta ei noussut kovin merkittäväksi. Liian yksityiskohtainen mallintaminen voi heikentää mallin havainnollisuutta viemällä huomion taistelutilan makrotasolta mikrotasolle. Vastauksista on aistittavissa, että mallintaminen ylipäättään koetaan jonkinlaiseksi visualisoinnin synonyymiksi. Mallintamisessa on huomioitava, että kaikkia mallinnettavia suureita ei välttämättä ole tarpeen esittää visuaalisessa muodossa. Esimerkiksi rakennelmien vaikutus radiosignaalin etenemiseen voidaan mallintaa visualisoimatta itse rakennuksia. [49]

4. MERELLISEN TAISTELUTILAN MALLIN PERUSTEET

Tässä luvussa määritellään perusteita Merellisen taistelutilan mallikuvaukselle sekä pyritään vastaamaan seuraaviin alakysymyksiin:

2. Minkälaisiin kysymyksiin Merellisen taistelutilan mallissa ajettavilla simulaatioilla pitäisi saada ratkaisu?
3. Mitä asioita Merellisen taistelutilan mallin pitää mallintaa jotta sen avulla voidaan ratkaista esitettyjä kysymyksiä?
4. Miten mallin vaatimat asiat mallinnetaan?

4.1. Skenaario

Tässä diplomityössä skenaario luotiin helpottamaan sopivien mallinnuskysymysten löytämistä. Skenaarion tavoitteena oli sitoa Merellisen taistelutilan malli konkreettiseen ympäristöön ja helpottaa operatiivisen suunnittelun asiantuntijoille tehdyn kyselyn kohdistamista mallin sijasta operatiivisen suunnittelun tietotarpeisiin.

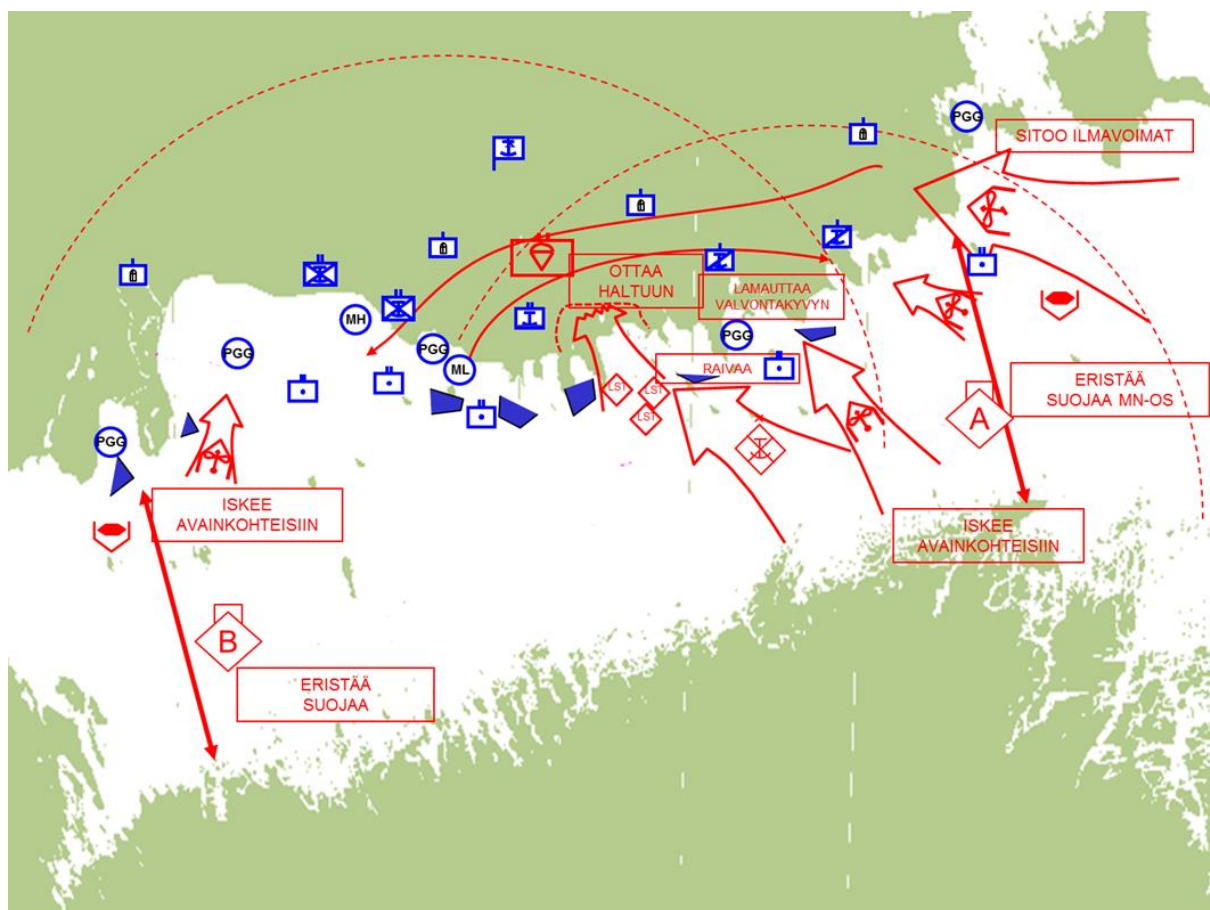
Skenaarion laatimisen perusajatuksena oli, että siihen rakennettavan mallin avulla voitaisiin tehdä yleistyksiä ja mallin avulla voitaisiin ratkaista erityyppisiä kysymyksiä. Diplomityön skenaario käsittää skenaarion osapuolet, toimintaympäristön, lähtötilanteen osapuolten päämäärän ja osapuolten käytettävissä olevat suorituskyvyt. Skenaariosta esitellään ainoastaan alkutilanne. Skenaarion pelisäännöt, eteneminen ja tarkasteltavat yksityiskohdat riippuvat siitä, mitä operatiiviset suunnittelijat, asiakkaat, tahtovat saada skenaariosta esille.

Skenaariossa on kaksi osapuolta sininen ja punainen. Skenaario sijoittuu kuvitteelliseen toimintaympäristöön, joka on olosuhteiltaan Suomenlahden kaltainen. Skenaarion lähtökohtana on punaisen alueellisen laivaston suorittama maihinnousu sinisen osapuolen hallussa olevalle rantamaalle. Punainen toimii skenaariossa hyökkäävänä osapuolena ja sen tavoitteena on toteuttaa menestyksekkäs maihinnousuoperaatio. Sininen toimii puolustavana osapuolena ja sen tavoitteena on torjua punaisen osapuolen maihinnousu.

Sinisen käytettävissä oleva suorituskyky. Sinisen suorituskykyä edustavat sinisen merivoimat, joka käsittää: 8 ohjusvenettä, 3 miinantorjuntalaivuetta, 2 miinalaivaa, 3 miinalauttaa, 2 rannikkojääkäripataljoonaa, 6 rannikkojääkärikomppaniaa, 2 rannikko-ohjuskomppaniaa, 4 meritorjuntaohjuspatteria, 4 kiinteää rannikkotykistöyksikköä ja 8 liikkuvaa rannikkotykistöyksikköä.

Punaisen käytettävissä oleva suorituskyky. Punaisen suorituskykyä edustaa punaisen alueellinen laivasto, joka käsittää: 2 hyökkäyssukellusvenettä, 2 hävittäjää, 2 fregattia, 4 korvetia, 4 ohjuskorvetia, 6 sukellusveneentorjunta-alusta, 8 ohjusvenettä, 12 miinanraivaajaa, 4 suurta maihinnousualusta, 2 maihinnousuilmatyynyalusta sekä 7 pientä maihinnousualusta. Lisäksi maihinnousun toisen portaan joukkoja varten käytettävissä on 5 raskasta ro-ro-alusta. Punainen osapuoli noudattaa suurvaltalaivaston mukaista maihinnousutaktiikkaa [54].

Skenaariossa ei oteta kantaa ennakkovaroitukseen tai voimankäytön säädöksiin. Skenaario päättyy kun punainen osapuoli on saanut tuotua rannikolle 30 % maihin nousevasta voimasta, tai kun jommallekummalle osapuolelle on tuotettu yli 60 %:n tappiot. Skenaario on tarkoituksella laadittu väljäksi, jottei se ohjaisi liikaa skenaarioon liittyvään kyselyyn vastanneiden asiantuntijoiden pohdintaa.



Kuva 10: Tutkimuksen skenaario

4.2. Mitä mallin avulla pitää ratkaista?

Mallinnustarpeen operatiivisten lähtökohtien määrittämiseksi laadittiin kysely, joka kohdennettiin Merivoimien operatiivisen suunnittelun asiantuntijoille. Kyselyn perusjoukon muodosti Merivoimien operatiiviseen suunnitteluun osallistunut henkilöstö ja varsinainen kysely toteutettiin otantatutkimuksena, koska perusjoukko on suuri ja otantamenetelmänä haluttiin käyttää harkinnanvaraista näytettä. Kyselytutkimuksen otoskoko oli 32. Otantamenetelmän valinnalla pyrittiin saamaan mahdollisimman kattava otos Merivoimien upseeristosta, jolla olisi todennäköisesti lisäarvoa tutkimukselle. Harkinnanvaraisuus korostui ennen kaikkea otannan yksilöiden valinnassa. Vastaajiksi pyrittiin valitsemaan henkilöitä, joilla on kokemusta operatiivisesta suunnittelusta yhtymä- ja puolustushaarasolla ja jotka omaavat samalla tutkittavan aiheen kannalta riittävän kompetenssin. Tutkimusryhmään valittiin Merivoimien esikunnan, Rannikkoprikaatin, Rannikkolaivaston sekä Uudenmaanprikaatin operatiivisen suunnittelun henkilöstöä sekä joukkoyksiköiden komentajia. Lisäksi kysely lähetettiin myös merisotataktiikan opettajistolle sekä Maanpuolustuskorkeakouluun että Merisotakouluun. Vastauksia saatiin kaiken kaikkiaan 8 eli vastausprosentti oli 25 %.

Kysely perustui skenaarioon ja vastaajille annettuun kuvaukseen Merellisen taistelutilan mallin ominaisuuksista. Malliin kuvattujen ominaisuuksien määrittelyssä hyödynnettiin tutkimustyötä *Merellisen taistelutilan mallin käyttäjävaatimukset* ja sen käyttäjätarvekyselyä. Vastaajille kuvattiin käytettäväksi käyttäjätarvekyselyn tulosten mukainen merellisen taistelutilan malli ja heitä pyydettiin esittämään kysymyksiä, joita mallin ja siinä tehtävän simulaation avulla tulisi ratkaista. On kuitenkin huomattava, ettei kuvatus kaltaista mallia ole olemassa, vaan tarkoituksena oli, ettei todellisen mallin rajoittuneisuus ohjaa vastaajia. Kysymyksiä saatiin kerättyä kaiken kaikkiaan 41. Kysely on esitetty liitteessä 1. Vastaukset alkuperäisessä muodossaan on puolestaan esitetty liitteessä 2.

Saadut kysymykset ryhmiteltiin niiden sisällön sekä hierarkiatason mukaan. Kysymyksiä yhdistelemällä ja yleistämällä luotiin uusia, geneerisiä mallinnuskysymyksiä. Mallinnuskysymysten tarkoituksena oli toimia pohjana mallin suunnittelulle. Rakentamalla malli, joka kykenee vastaamaan laadittuihin mallinnuskysymyksiin, voidaan vastata operatiivisten suunnittelijoiden esittämiin oikeisiin tietotarpeisiin.

Operatiivisen suunnittelun asiantuntijoiden esittämät kysymykset voidaan jakaa karkeasti kolmeen kategoriaan: raja-arvoa etsiviin kysymyksiin, vertaileviin kysymyksiin sekä optimia hakeviin kysymyksiin.

Raja-arvoja etsivät kysymykset. Mallille esitettiin seitsemän erilaista kysymystä, joilla haettiin raja-arvoa taistelun kulusta erilaisilla kriteereillä. Kaikista raja-arvoja etsivistä kysymyksistä oli löydettävissä yhteinen nimittäjä ja ne voitiin tiivistää kysymykseen: milloin saavutetaan kulminaatio? Esimerkiksi:

- Kuinka suuret tappiot johtavat kulminaatioon?
- Kuinka kauan kulminaatioon päätyminen kestää?
- Johtaako voimien jakaminen kulminaatioon?

Optimia hakevat kysymykset. Vastauksista yhdeksän voitiin luokitella parasta vaihtoehtoa hakevaksi kysymykseksi. Optimia hakevilla kysymyksillä oli selkeänä yhteisenä nimittäjänä tahto selvittää rajaamattomista mahdollisuuksista optimaalisin yhdistelmä. Yhdistämisen ja yleistämisen jälkeen kysymykset voitiin tiivistää kahteen kysymykseen:

- Mikä olisi optimoitu ryhmitys joukoille ja/tai järjestelmillä?
- Mikä olisi optimoitu tulenkäytön kombinaatio?

Kysymyksiin liittyi erilaisia rajoituksia ja tarkenteita, kuten: mikä olisi paras ryhmitys ohjusyksiköille huomioiden muut käynnissä olevat tehtävät?

Vertailevat kysymykset. Kymmenen operatiivisten suunnittelijoiden esittämistä kysymyksistä luokiteltiin vertailevaksi kysymykseksi. Vertailevilla kysymyksillä haettiin parasta vaihtoehtoa rajallisesta määrästä vaihtoehtoja kuten esimerkiksi:

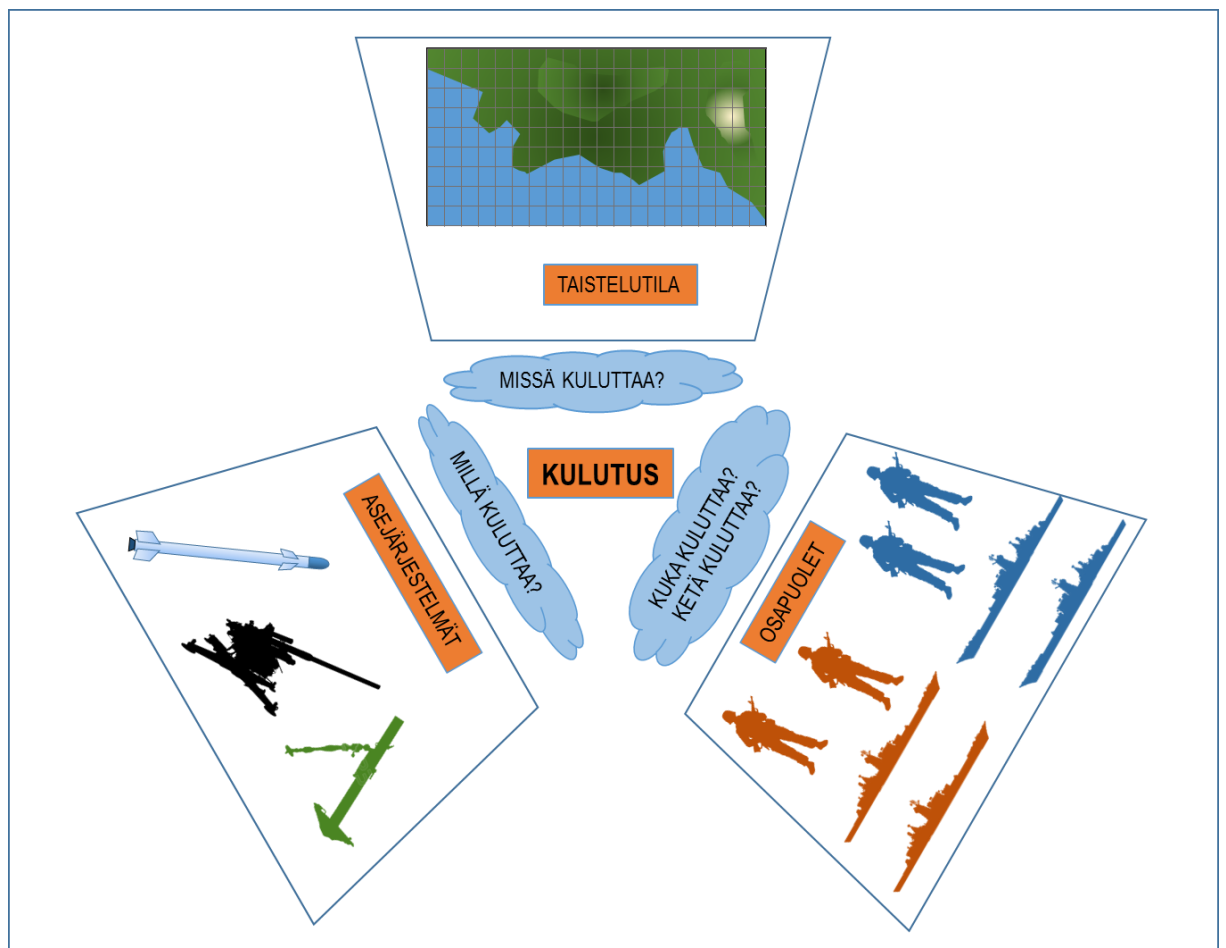
- Kannattaako raivaajiin vaikuttaa ohjustulella vai kranaattitulella?
- Kumpaan maaliin kannattaa vaikuttaa maihinnousualuksiin vai sitä suojaaviin aluksiin?

Vastaajille annettiin varsin vapaat kädet esittää mallille kysymyksiä, mikä johti siihen, että osa mallille esitetyistä kysymyksistä oli selkeästi tutkimuksen viitekehyksen ulkopuolella. Osa kysymyksistä oli puolustushaaratason operaatiotasoa alempia, kuten esimerkiksi: ”Missä sukellusvene voi operoida?”, joka sijoittuu lähinnä taistelutekniselle tasolle. Osa kysymyksistä ei välttämättä voida muutenkaan vastata Merellisen taistelutilan mallilla. Tällainen on esimerkiksi kysymys: ”Millä todennäköisyydellä toiminta-alueen paikallisinfrastruktuuri (sähköverkko, tietoliikenneverkot) on hyödynnettävissä omaan operaatioon?” Toisaalta kyselyn avulla saatiin riittävästi tutkimusmateriaalia operatiivisten lähtökohtien selvittämiseksi.

4.3. Mitä asioita pitää mallintaa?

Merellisen taistelutilan malli on taistelun kulkua simuloiva kokonaisuus, jossa taistelun luonteen mukaisesti osapuolet pyrkivät vaikuttamaan toisiinsa. Koska mallin tavoitteena on selvittää sotilaallisten voimakeinojen käyttöön liittyvää problematiikkaa, on ongelman ratkaisun kannalta keskeistä selvittää osapuolten toisiinsa kohdistavan kuluttavan vaikutuksen määrä ajan funktiona, eli kuinka paljon osapuolet kykenevät kuluttamaan toisiaan, ennen kuin niiden oma voima on kulutettu loppuun.

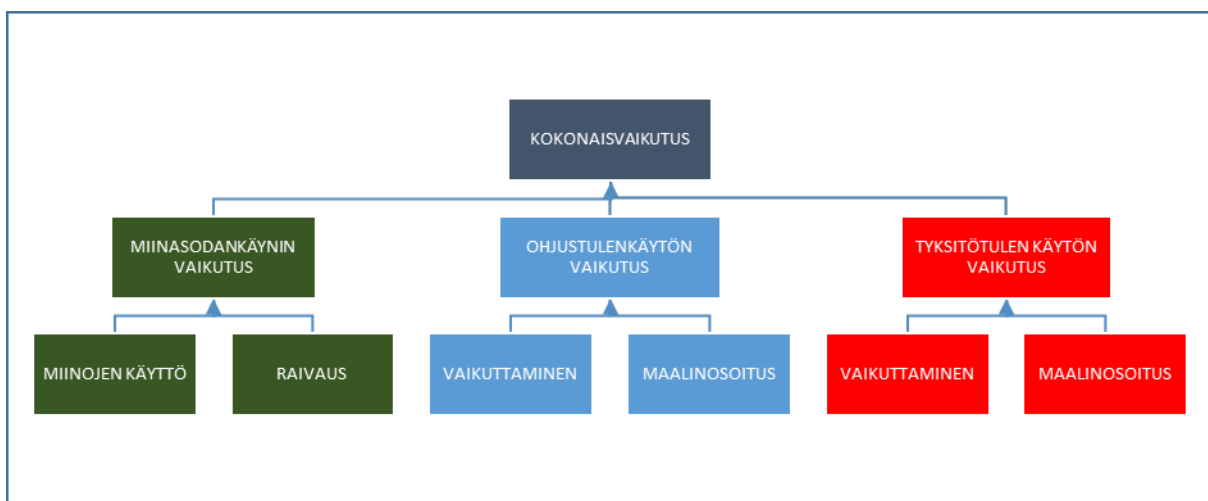
Merellisen taistelutilan mallin tulee alaluvun 4.2 perusteella kyetä laskemaan raja-arvoja kulminaatioon liittyen, vertailemaan asejärjestelmien käytön vaikutuksia sekä optimoimaan joukkojen käyttöä. Kulminaation laskemiseksi tulee mallintaa joukkojen toisiinsa kohdistama kokonaisvaikutus. Vertaileviin kysymyksiin vastaamiseksi tulee mallintaa sekä erilaisten taistelujärjestelmien vaikutus että erilaisten joukkojen vaikutus taistelun kulkuun. Haastavin tehtävä mallille on optimointiin liittyvien kysymysten ratkaisu. Tällöin tulee mallintaa sekä eri joukkojen toisiinsa kohdistaman kuluttavan vaikutuksen määrä että hakea panos-tuotossuhteeltaan parasta tuliyksikköä, maalinosoittajaa ja ryhmitystä. Kuvassa 11 on havainnollistettu kulutuksen mallintamiseen liittyviä kokonaisuuksia.



Kuva 11: Mitä kulutuksen mallintamiseen tarvitaan

Mallinnuskysymyksistä mallikuvausta varten valittiin raja-arvoa etsivä kysymys, sillä sen ratkaisemiseksi rakennettava malli vaikuttaa riittävän yleispätevältä vastaamaan kaikkiin raja-arvoa etsiviin kysymyksiin. Raja-arvoa etsiviä kysymyksiä voidaan ratkaista esimerkiksi rakentamalla maihinnoususkenaariota simuloiva malli. Kun mallin pätevyys on varmistettu, simulaatioita toistetaan pienentämällä tai kasvattamalla osapuolten suorituskykyä raja-arvon löytämiseksi. Esimerkiksi raja-arvoa etsivään kysymykseen: kuinka paljon miinoitteita on vähintään laskettava, että maihinnousu voidaan torjua? voidaan etsiä mallin avulla seuraavasti: mallissa toistetaan skenaarion mukaisia simulaatioita, joissa miinoitteiden määrää pienennetään ja estearvoa lasketaan asteittain simulaatiosta toiseen, kunnes kulminaatio saavutetaan.

Maihinnousuntorjunnan kannalta keskeisiä mallinnettavia kokonaisuuksia ovat miinasodankäynnin vaikutus lopputulokseen, ohjustulen vaikutus lopputulokseen sekä tykistötulen vaikutus lopputulokseen. Kokonaisuuksien mallintaminen puolestaan edellyttää suorituskyvyn tuottaman järjestelmän ja joukon mallintamista. Skenaariossa kummallakaan osapuolella ei ole käytettävissään ilmakomponenttia, mutta tarvittaessa se voidaan huomioida pienentämällä osapuolten suorituskykyä alkuasetuksissa. Operatiivisten lähtökohtien perusteella rantamaalla tapahtuvan taistelun mallintaminen ei noussut kokonaisuuden kannalta merkittävään rooliin. Rannikolla tapahtuvan taistelun mallintaminen voisi toimia kokonaan oman tutkimuksen pohjana. Vaikka sukellusveneillä voi olla merkittävä rooli sodankäynnin näkökulmasta, niiden mallintaminen erillisinä toimijoina ei välttämättä tuo lisäarvoa lopputuloksen kannalta. Kuvassa 12 on esitetty, miten eri kokonaisuudet mallintamalla muodostuu kokonaisvaikutus.



Kuva 12: Maihinnoususkenaariot mallinnettavat kokonaisuudet

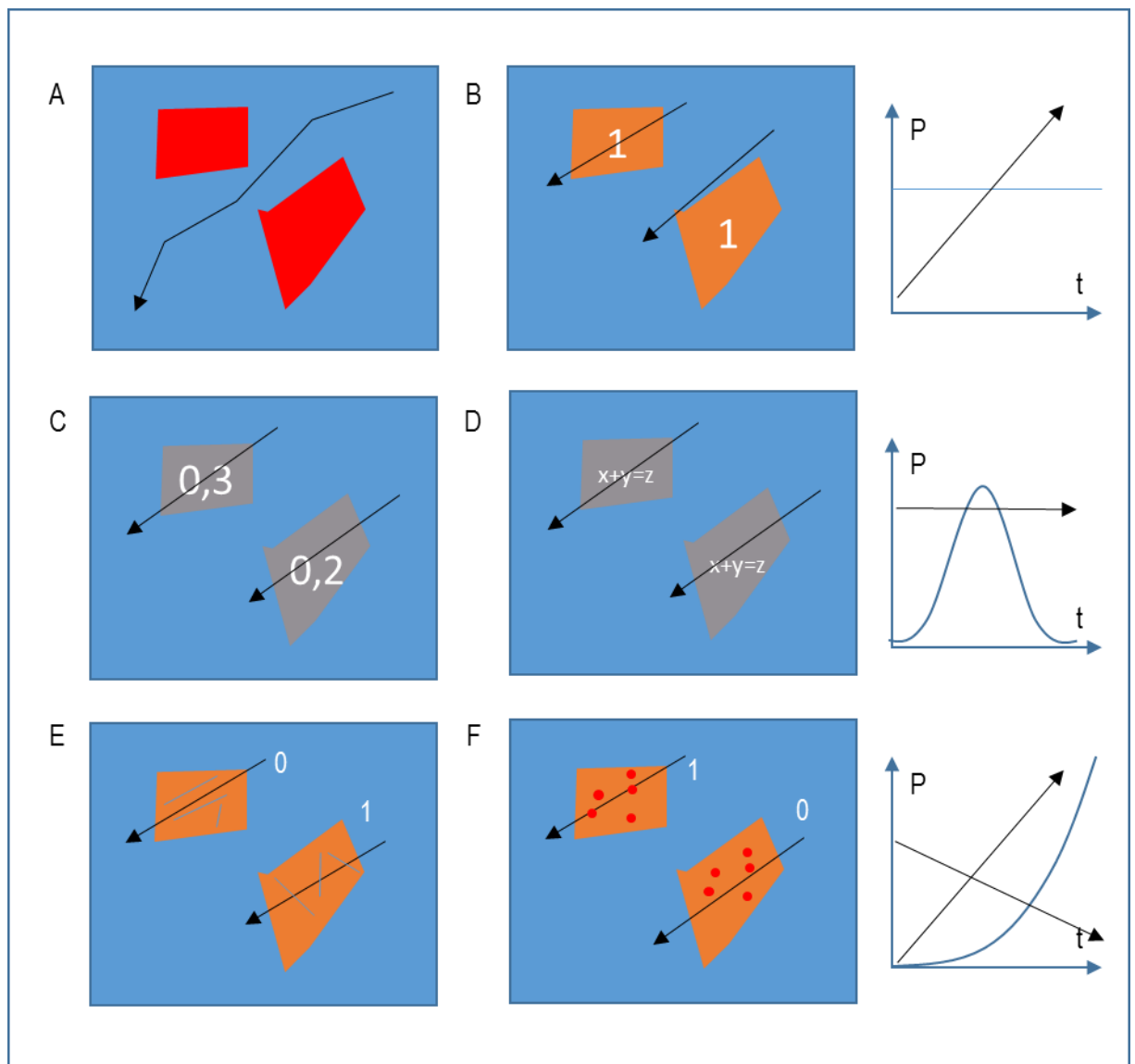
4.4. Miten asiat mallinnetaan?

4.4.1. Miinasodankäynnin vaikutuksen mallintaminen

Merimiinoilla on keskeinen rooli skenaarion vaikuttajina. Miinoitteet sekä kuluttavat osapuolten suorituskykyä että ohjaavat niiden liikettä. Miinasodankäynnin mallintaminen jakautuu kahteen osakokonaisuuteen, joita ovat miinojen käytön ja miinojen raivauksen mallintaminen. Valitulla hierarkiatasolla (taktis-operatiivinen) merimiinojen laskun mallintaminen ei sinällään ole kuitenkaan merkityksellistä. Kokonaisuuden kannalta on ratkaisevaa se, onko miinat laskettu, ja mikäli ovat, mikä on miinoitteiden sijainti ja estearvo. Toisin sanoen Merellisen taistelutilan mallissa miinoitteiden sijoittaminen tai niiden sijoittamatta jättäminen ovat osa alkuasetuksia.

Miinojen käyttö voidaan periaatteessa mallintaa kahdella tavalla, joko yksittäisten miinojen tarkkuudella tai kokonaisuutena. Mikäli miinoitteet mallinnetaan kokonaisuutena, voidaan miinoitteita käsitellä estearvolla ja ne on helpompi sijoittaa malliin.

Yksinkertaistetussa miinasodankäynnin mallissa miinantorjunta on mahdotonta, miinoitteiden tiedustelu on täydellistä, eikä sillä, miten miinat saadaan laskettua, ole merkitystä. [52] Toisin sanoen lasketut miinoitteet muodostavat mallissa alueita, joille toinen osapuoli ei voi sijoittaa yksiköitä eikä käyttää niitä siirtymiseen. Mikäli miinasodankäynti ei ole tarkastelun keskiössä voidaan mallissa tyytyä yksinkertaistettuun miinasodankäynnin malliin. Kuvan 13 A-kohdassa miinoite on mallinnettu kiellettyä alueena, jolla ei ole mitään muuta toiminnallisuutta. Osapuolten on kierrettävä se.



Kuva 13: Esimerkki erityyppisistä tavoista mallintaa miinoitteita

Kun mallilta vaaditaan suurempaa realistisuutta, tulee miinasodankäynnille asettaa lisää sääntöjä. Kuten se, että miinoitteiden sijainti ei ole toisen osapuolen tiedossa, ennen kuin ensimmäinen alus ajaa miinoitteeseen. Miinoitteeseen osunut alus, pois lukien raivaajat, uppoaa välittömästi ja miinoitteen sijainti paljastuu osapuolelle. Osapuolet ovat immuuneita omille miinoitteilleen. Miinoitteeseen osunut raivaaja aloittaa välittömästi raivauksen ja miinoite on raivattu raivausnopeuden ja pinta-alan mukaisessa suhteessa. Jokaista miinoitetta varten tulee olla varattuna aikaa ja suorituskyyä miinoitteen laskemiseksi. [52] Yksinkertaisessa miinoitteen mallissa miinoite muodostaa alueen, jossa toisen osapuolen yksiköt tuhoutuvat aina todennäköisyydellä 1. Kuvan 13 kohdassa B miinoite on mallinnettu alueena, jolle tuleminen johtaa automaattisesti vaikutukseen riippumatta siitä, kuinka syvälle miinoitteeseen ajetaan. Tällaisissa tapauksissa miinoitteen estearvo on vakio.

Todellisuudessa miinoitteeseen ajaminen ei välttämättä aiheuta miinaräjähdyttä, vaan miinoitteella on estearvo, joka määrittelee kuinka suurella todennäköisyydellä siihen ajava alus osuu miinaan. Edellistä realistisemmassa miinoitteen mallissa miinoitteella on yksi laskennallinen estearvo, joka on samansuuruinen koko miinoitteen alueella. Tällöin on mahdollista, että yksikkö kykenee kulkemaan miinoitteen läpi ilman vaikutusta, mutta myös että miinoitteen kulman hipaiseminenkin voisi johtaa vaikutukseen (kuva 13) kohdat C ja D).

Oikeissa miinoitteissa miinat eivät yleensä ole tasaisesti jaoteltuna koko miinoitteen alueella, vaan miinoitteella on estearvo vain erikseen määrättyssä kohdassa ja erikseen määrättyillä suunnilla. Yksinkertaisimmalla, mutta työläimmällä, tavalla tavoitteeseen päästään sijoittamalla miinat joko linjoina, joiden ylittäminen johtaa uppoamiseen, tai mallintamalla miinat yksi kerrallaan, jolloin miinoitteen estearvo myös muuttuu realistisesti miinoitteeseen ajettaessa ja miinojen tuhoutuessa (kuva 13, kohdat E ja F). Merimiinojen mallintaminen yksilöinä on työlästä johtuen miinojen suuresta määrästä. Vaikka edellä mainitulla menetelmällä saavutetaan suurin mahdollinen realismi kyseisen miinoitteen osalta, ei se kokonaisuuden kannalta ole kuitenkaan tarkoituksenmukaista. Miinoitteiden tarkalla sijoittelulla voidaan tutkia yksittäisen miinoitteen toimivuutta, mutta tällöin menetetään koko taktis-operatiivisen tason tarkasteluissa vaadittava yleispätevyys. Liian tarkka kuvaus antaa siis vastauksen vain ainoastaan kyseisessä yksittäistapauksessa, jolloin useiden toistojen ja vertailuiden tekeminen edellyttää runsaasti lisätöitä.

Jotta miinasodankäynnistä voitaisiin tehdä yleispätevä mallinnus, on tässä tapauksessa tarkoituksenmukaisinta mallintaa miinoitteet ja miinojen käyttö alueena, jonka estearvo ja vaikutus lasketaan tapauskohtaisesti jokaisen sinne tulevan yksikön osalta. Kuvassa 13 D miinoitteen ylittävien alusten todennäköisyys osua miinoitteeseen lasketaan ajan funktiona siten, että keskellä miinoitetta todennäköisyys on korkeampi. Miinojen paikat eivät ole riippuvaisia toisistaan, jolloin periaatteessa jokaisen ajanhetken jälkeen jokainen miina lasketaan uudelleen eikä laskutoimituksessa huomioida tilannetta edellisellä ajanhetkellä. Mallinnusmenetelmän heikkoutena on se, että todellisuudessa kahdesta täysin samaa reittiä kulkevasta yksiköstä jälkimmäinen voi ajaa miinaan paikassa, jossa edellisen yksikön liikkeessä ei miinaa ollut.

Miinoitetun alueen mallintamisen ongelmia kannattaa tarkastella myös sekä itse miinoitteen näkökulmasta että miinoitettujen alueiden vaikutuksen näkökulmasta. Koska miinoitteilla on varsinaisen kineettisen vaikuttamisen lisäksi myös yleisiä vaikutuksia. Oletetaan, että toinen osapuoli on tietoinen merimiinojen käytöstä. Tämä pakottaa sen varautumaan uhkaan ja käyttämään miinanraivaajia. Jotta miinanraivaajista olisi hyötyä, tulisi niiden tulla miinoitetulle alueelle ennen muita aluksia. Löydetty miina aiheuttaa osapuolella toimenpiteitä, eikä omia joukkoja suunnata miinoitetulle alueelle ennen kuin alue on raivattu. Toisin sanoen yleisenä vaikutuksena voidaan pitää sitä, kuinka suuren hidasteen miinoitettu alue aiheuttaa toiselle osapuolelle. Tämä tarkoittaa sitä, että mallinnettavat asiat ovat ensimmäisen miinaräjähdyksen todennäköisyyden laskeminen sekä raivaukseen kuluvan ajan laskeminen. Koska merellisen taistelutilan mallin abstraktiotaso pyritään pitämään puolustushaarasella (taktis-operatiivinen), ei miinoitetun alueen mallintava laskentakaava saa nousta keskeiseen asemaan.

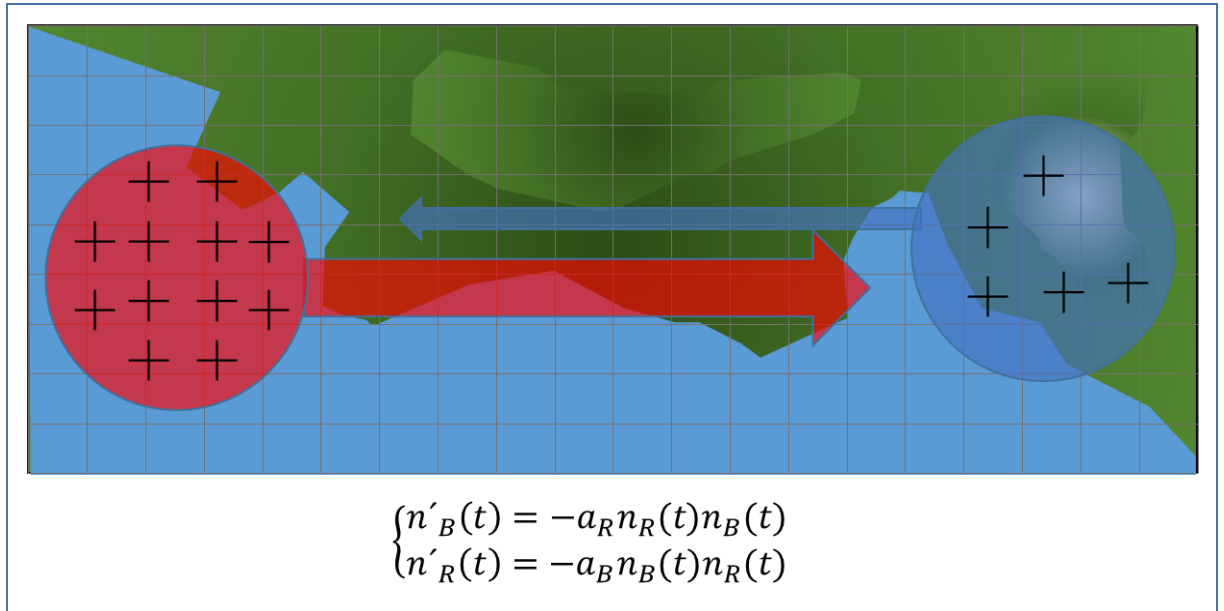
Mikäli tarkastelussa kuitenkin päädytään vaihtoehtoon, jossa osapuoli tuo joukkoja miinoitetun alueen läpi riskeistä huolimatta, voidaan kiinnittää enemmän huomiota varsinaisen miinoitteen mallintamiseen.

Merimiinojen vastavaikuttaja on raivaus. Raivauksella poistetaan taistelutilasta merimiinoja tai pienennetään miinoitteiden estearvoa. Raivausta on käsiteltävä mallissa ilmiönä ja vaikka sen olemassaolo on riippuvainen raivausta suorittavasta aluksesta, ei raivaus ole kuitenkaan sama asia kuin raivaaja. Koska raivaajan ja raivauksen välinen vuorovaikutussuhde on ilmeinen, on kuitenkin järkevintä liittää raivausta kuvaavaan ilmiöön ominaisuuksia, joihin on mahdollista vaikuttaa muilla vaikuttajilla. Raivauksen kannalta keskeisiä ominaisuuksia ovat sijainti, liiketekijät, haavoittuvuus, vaikuttavuus, vaikutussäde ja vaikutusnopeus eli raivausnopeus. Raivaamisen mallintaminen on myös riippuvainen siitä, kuinka merimiinoitteet on mallinnettu. Mikäli miinoitteet mallinnetaan homogeenisina alueina, joissa miinoitteen estearvo on kaikkialla vakio, voidaan raivaaminen mallintaa realistisesti. Koska raivaaja ei todellisuudessa voi varmasti tietää miten miinat sijaitsevat miinoitteessa, on sen suhtauduttava koko alueeseen siten kuin siellä olisi miinoja.

Valitulla hierarkiatasolla miinasodankäynnin tarkoituksena on tuottaa laskennallisia tappioita, ohjata liikettä sekä kuluttaa aikaa. Miinoitteiden tai niiden raivaamisen yksityiskohtainen mallintaminen ei tuo lopputuloksen kannalta lisäarvoa.

4.4.2. Tykistötulen käytön vaikutuksen mallintaminen

Tykistötulen mallintamiseksi on olemassa monenlaisia menetelmiä. Tulta voidaan mallintaa aina yksittäisen laukauksen tarkkuudesta usean tulyksikön aluemaaliammuntaan. Kaikkein yksinkertaisimmillaan tykistötulen vaikutuksen mallintamisessa voidaan käyttää differentiaaliyhtälöitä, kuten esimerkiksi Lanchesterin kulutusmalleja, joissa osapuolet kuluttavat toisiaan lukumäärän, tulinopeuden ja tulentehon mukaisessa suhteessa. Osapuolten toisilleen aiheuttama kulutus on riippuvainen maalien tiheydestä ja niihin vaikuttavien tulyksiköiden lukumäärästä. Toisin sanoen: mikäli osapuolet ovat ryhmittyneet samankokoisille alueille ja molemmilla on käytössään yhtä tehokkaita asejärjestelmät, molempien osapuolten tappiot ovat suunnilleen samat. Todennäköisyys sille, että satunnainen laukaus osuu tiheämpään maaliin, on suurempi kuin sen osuminen harvaan maaliin. Tätä kompensoi se, että suurempi joukko kykenee vaikuttamaan harvaan joukkoon useammalla tulyksiköllä. [15; 29; 30]



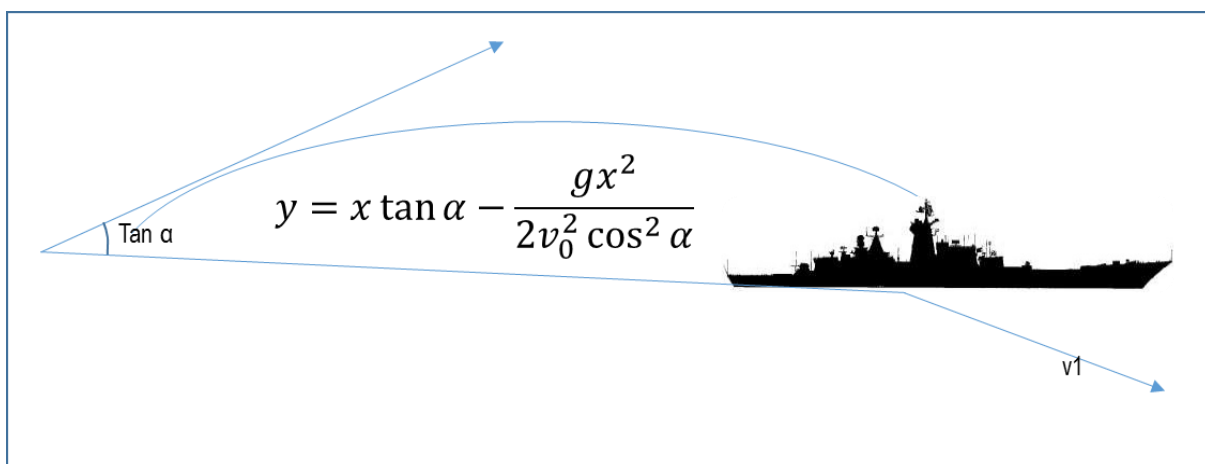
Kuva 14: Esimerkki tykistötulen mallintamisesta Lanchesterin kulutusmallien avulla

Pelkkään voimatasapainoon ja kulutukseen perustuvien, determinististen mallien ongelmana on erittäin voimakas pelkistäminen. Mallit perustuvat muun muassa oletuksille, että osapuolet ovat homogeenisia ja sijoittuneet tasaisesti maalialueelle, joukot taistelevat samalla teholla loppuun saakka tappioista huolimatta sekä oletukselle, että tuli jakautuu tasaisesti koko maalialueelle [16]. Puutteistaan huolimatta Lanchesterin kulutusmalleihin perustuvia taistelusimulaatioita käytetään laajasti ja niiden avulla voidaan arvioida esimerkiksi voittoon tarvittavan ylivoiman määrää.

Kun mallilta vaaditaan suurempaa realistisuutta, tulee laskennassa ottaa huomioon enemmän muuttujia. Realistisemmassa mallissa maalia ei enää käsitellä yhtenä kokonaisuutena vaan joukot sijoittuvat maalialueelle joko satunnaisesti tai erikseen sijoiteltuina. Maalialueella olevat joukot voivat olla erityyppisiä, kuten esimerkiksi panssaroituja ja suojaamattomia kohteita. Tällöin tulen teho on riippuvainen paitsi osumatarkkuudesta myös maalin haavoittuvuudesta. Perinteiset kulutusmallit eivät myöskään huomioi maaston vaikutusta tulen tehoon. Esimerkiksi sirpalekranaattien teho peitteisessä metsämaastossa poikkeaa huomattavasti niiden tehosta avomerellä [47]. Tarkemmissa tykistötulen laskentamalleissa myös maasto-tyypillä on oma vaikutuskertoimensa tulen teholle.

Merivoimien tykistötulenkäyttö merelle eroaa kenttätykistön tulenkäytöstä oleellisesti. Kenttätykistön tulenkäyttö pääpiirteissään perustuu erilaisten tulimuotojen, kuten isku, peite, este ja alue, käytölle. Tulimuodoissa kranaatteja ammutaan maalipisteeseen, jossa vaikutettava kohde sijaitsee. Tyypillisesti tykistön tuli levitetään kolmeen toisistaan 100 metrin etäisyydellä olevaan pisteeseen, ja pituushajonta on ± 50 metriä. Tällöin tulimuodon vaikutusalueeksi lasketaan 100×300 metriä. Maalialue katetaan levittämällä tulta sekä luonnollisen hajonnan avulla. [50] Tykistöä käytetään yleensä massamaisesti tietylle alueelle, jolloin yksittäisen laukauksen merkitys on verraten pieni. Tulen vaikutus perustuukin tulen peittoon, eli siihen kuinka suuri pinta-ala tulella ja sirpaleilla saadaan peitettyä. Toisin kuin maa-alueilla, merellä maalit ovat yksittäisiä pistemaaleja, joiden lukumäärä on suhteellisen pieni ja joiden etäisyys toisistaan on sadoista metreistä kilometreihin. Tällöin alueen peittoon perustuva ammunta ei ole kustannustehokasta. Merimaaliammunnassa tykistötulta käytetään liikkuvaan maaliin vaikutusammuntana, jolloin jokaisella laukauksella pyritään osumaan suoraan maaliin. Näin olleen kenttätykistön mallintamisessa käytetyt menetelmät eivät sovellu Merivoimien merimaaliammuntoihin. Kenttätykistön mallintamismenetelmät soveltuvat käytettäväksi silloin, kun tykistön ja heittimistön tulta käytetään rantautumisalueelle tai saariin levittäytynyttä joukkoa vastaan.

Merimaaliammunnan mallintamisessa on huomioitava, että tulta käytetään ainoastaan tähystysti, tarkkaan maalitietoon. Jokaiselle laukaukselle lasketaan siis ampuma-arvot erikseen. Käytännössä merimaaliammunnat on rinnastettavissa suorasuuntauksella tapahtuvaan ammuntaan, jolloin ampuma-arvot taulukko-olosuhteissa voidaan laskea trigonometristen funktioiden avulla [50]. Mallinnettaessa realistista osumistodennäköisyyttä on laskennassa huomioitava lisäksi maalinosoituksen tarkkuus, ammunnan tarkkuus, sääolosuhteet, maalin liikehtiminen, hajonta ja muut satunnaiset virheet.



Kuva 15: Merimaaliammunnat tulisi mallintaa laukauksen tarkkuudella

Tykistötulen tarkkuus ei kuitenkaan vielä riitä määrittämään tykistötulen käytön vaikutusta. Tulen vaikutus muodostuu sekä tulen tarkkuudesta että osumien aiheuttamasta tuhovaikutuksesta maalissa. Tuhovaikutus on riippuvainen paitsi käytetyn ampumatarvikkeen latauksesta myös sen toimintaperiaatteesta. Kranaattien teho perustuu lämpö-, paine- ja sirpalevaikutukseen ja joissain tapauksessa pelkkään kineettiseen energiaan [53]. Kranaattien teho optimoidaan käyttötarkoitukseen sopivaksi, esimerkiksi suojaamattomia kohteita vastaan suunnitelluissa kranaateissa pyritään usein mahdollisimman tehokkaaseen sirpaloitumiseen ja laajaan sirpalekuvioon. Vastaavasti kiinteitä kohteita vastaan suunnitellut kranaatit ovat tunkeutumiskykyisiä ja perustuvat pääsääntöisesti painevaikutukseen. Merimaalikranaatit on suunniteltu tunkeutumaan alusten rungon sisään pienilläkin iskukulmilla ja kranaattien muutamia millisekunteja viivästetty sytytys saa kranaatin taistelulatauksen toimimaan maalin sisällä. [46] Merimaalikranaateilla on siis vaikutusta ainoastaan osuessaan suoraan maaliin, mutta toisaalta kranaatti saattaa aiheuttaa vaikutusta myös huonolaatuisella osumalla, koska ne toimivat pienilläkin iskukulmilla.

Merellisen taistelutilan mallille valitussa abstraktiotasossa tykistötulen mallintaminen maaleja vastaan voidaan toteuttaa hyödyntämällä käytössä olevia epäsuorantulen malleja. Merimaaleja vastaan tykistötulen vaikutus voidaan mallintaa yksinkertaistettuna laskemalla maalinosoitukseen, laukaisuun ja olosuhteisiin vaikuttavien tekijöiden muodostama todennäköisyys osumiselle, sekä merimaalikranaatin vaikuttavuuteen ja maalin haavoittuvuuteen perustuva arvo vaikutukselle. Valitun abstraktiotason kannalta ei välttämättä ole oleellista mallintaa tykistön tulenkäyttöä yksityiskohtaisemmin.

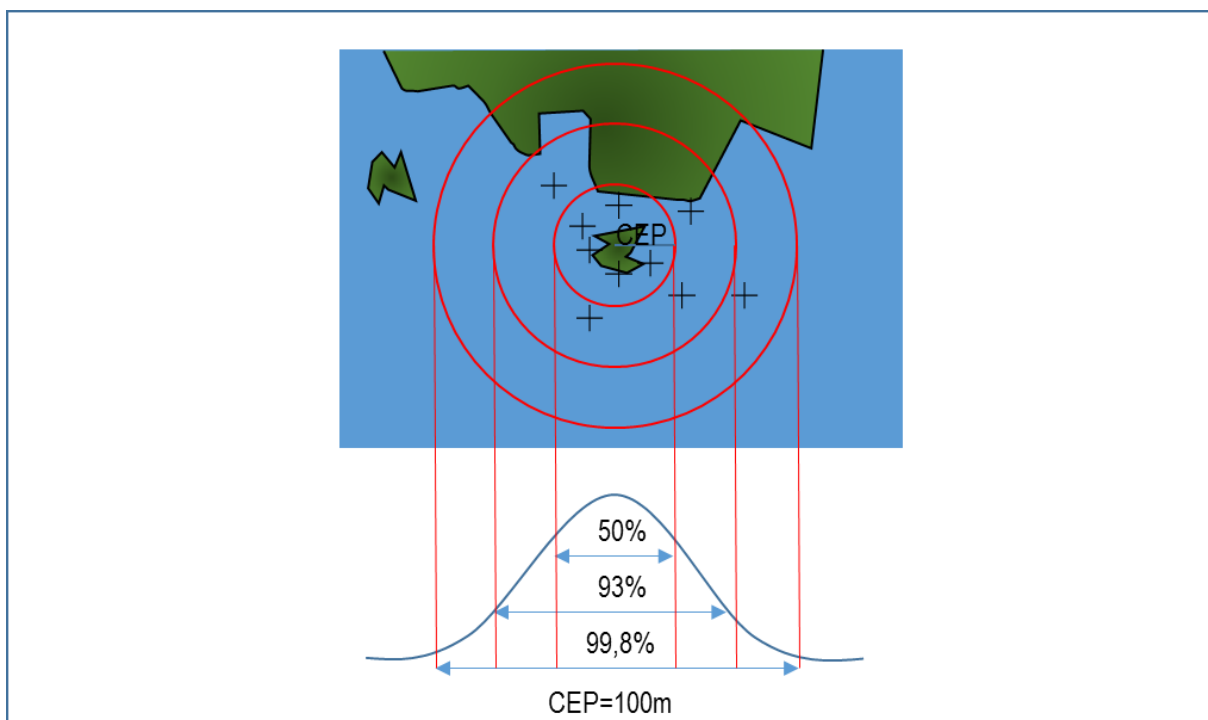
4.4.3. Ohjustulenkäytön vaikutuksen mallintaminen

Ohjus on yleisnimi kaikille omalla propulsiojärjestelmällä varustetuille, itsenäisesti tai ohjautusti maaliin hakeutuville asejärjestelmille, joiden lentorataa voidaan säädellä lennon aikana. Koska ohjustyyppit poikkeavat toisistaan merkittävästi, ei ohjustulen vaikutusta yleisellä tasolla voida mallintaa ilman erittäin voimakasta abstrahointia. Ohjustulenkäytön vaikutuksen mallintamisessa korostuukin mallinnushierarkian mukainen alempien tasojen tulosten hyödyntäminen ylemmän tason mallien rakentamisessa.

Osapuolilla on käytettävissään ainakin kolme erityyppistä ohjusta: meritorjunta-, rannikko- ja risteilyohjuksia. Mallinnuksen kannalta ohjustyyppien välinen keskeisin ero on maaliin hakeutumisen mallintaminen. Erittäin tarkka ohjustulenkäytön malli edellyttää kunkin ohjustyyppin alijärjestelmien toiminnan, ohjuksen lentomekaanisen käytöksen sekä maalin vastatoimenpiteiden mallintamista. Kokonainen ohjusjärjestelmä muodostuu karkeasti kolmesta osajärjestelmästä, joita ovat maalinosoitusjärjestelmä, laukaisujärjestelmä ja ohjus. Itse ohjus koostuu useista alijärjestelmistä, joista keskeisimmät ovat propulsiojärjestelmä, ohjausjärjestelmä, navigointijärjestelmä, maaliinhakeutumisjärjestelmä, laukaisujärjestelmä ja taistelulautaus. Jokainen alijärjestelmä jakautuu vielä ohjustyyppistä riippuen useisiin alijärjestelmän alijärjestelmiin. [43] Kun jokaisen osajärjestelmän ja alijärjestelmän kombinaatio otetaan huomioon, kasvaa vaihtoehtojen määrä erittäin suureksi.

Yksinkertaisempi ohjustulenkäytönmalli, jossa ohjuksena käytetään aktiivisella hakupäällä varustettua ohjusta, voidaan rakentaa jakamalla ohjusjärjestelmän toiminta karkeasti neljään vaiheeseen: ohjelmointi, laukaisu, passiivinen lentovaihe ja aktiivinen hakeutuminen [45]. Ohjelmointi käsittää tässä tapauksessa maalinosoituksen, joka pitää sisällensä maalin sijaintiin ja liiketekijöihin liittyvän laskennan. Ohjelmoinnissa lasketaan ohjukselle ennakkopiste ja hakualue. Laukaisu käsittää laukaisukriteereiden täyttymisen arvioinnin, jolloin lasketaan muun muassa kantaman riittävyys ja lentoreitillä tai hakualueella olevat laukaisua rajoittavat esteet. Passiivisen lentovaiheen aikana ohjukselle ei välity tietoa maalin liikkeistä, ja ympäristöolosuhteet voivat aiheuttaa poikkeamaa ohjuksen sijaintiin. Käytännössä passiivisen lentovaiheen tarkoituksena on toimia viiveenä laukaisun ja hakeutumisen välillä. Lisäksi olosuhteiden vaikutuksesta ja maalin liikehtimisestä johtuen voi olla, että aktiivisen maaliin hakeutumisen alkaessa maali ei sijaitsekaan hakualueella, jolloin ohjus harhautuu. Aktiivisen hakeutumisen aikana ohjuksen hakupään toiminta simuloidaan ja ohjukselle lasketaan sekä osumistodennäköisyys että mahdollisten vastatoimien onnistumisen todennäköisyys. Osueksaan ohjus vaikuttaa maalissa oman vaikutusarvonsa mukaisesti, jolloin maalin haavoittuvuuden ja ohjuksen vaikutusarvon erotus määrittävät vaikutuksen maalissa.

Mallinnettaessa maalipisteeseen hakeutuvien risteilyohjusten käyttöä voidaan mallista jättää pois hakupään toiminnan simulointi. Risteilyohjusten ja muiden maalipisteeseen laukaistujen ohjautuvien asejärjestelmien osumistodennäköisyys ilmoitetaan usein CEP-arvona (Circular Error Probable), joka määrittelee kuinka suurella todennäköisyydellä osuma on tarkkuusympyrän sisällä. CEP-laskenta perustuu oletukselle, että ohjusten osumistarkkuus noudattelee normaalijakaumaa [52]. Tosisin sanoen CEP-arvo 100 metriä tarkoittaa sitä, että 50 % ohjuksista osuu ympyrän sisälle, jonka halkaisija on 100 metriä. Vastaavasti 93 % ohjuksista osuu ympyrän, jonka halkaisija on 200 metriä ja 99,8 % osuu ympyrään, jonka halkaisija on 300 metriä. Kuvassa 16 on esitetty osumistodennäköisyys käyttäen CEP:tä.



Kuva 16: Iskemien muodostuminen CEP:n mukaan

Erittäin yksinkertaisessa ohjustulenkäytön mallissa havaittuja maaleja vastaan vaikutetaan ohjuksilla, ja laskettavat suureet ovat ainoastaan osumistodennäköisyys ja vaikutusarvon sekä haavoittuvuuden summa. Sama malli soveltuu myös yksinkertaistetun merimaalitykistötulenkäytön laskentaan. Periaatteessa ohjukselle ja merimaalikaranaatille voidaan käyttää samaa laskentamallia siten, että ainoat erot ohjuksella ja merimaalikranaatilla ovat olioiden attribuuteissa, kuten kantamassa, osumistodennäköisyydessä ja vaikutusarvossa. Mallia voitaisiin käyttää tilanteessa, jossa tarkastelun kannalta on epäoleellista, millä asejärjestelmällä vaikutus saadaan aikaan.

Merellisen taistelutilan mallin operatiivisten lähtökohtien valossa soveltuvimmaksi tarkastelutasoksi nousee yksinkertainen malli, jossa ohjustulenkäytön vaikutukset mallinnetaan ohjustajärjestelmittään. Taktis-operatiivisella tasolla on tarkoituksenmukaista erotella kriittisten asejärjestelmien vaikutus kokonaisuuteen, mutta toisaalta esimerkiksi ohjuksen hakupään asetuksen mallintaminen on puolustushaaratason suunnittelun näkökulmasta tarpeetonta. Ohjusten todellisista ominaisuuksista huolimatta niiden lentoratojen mallintamisella ei valitulla hierarkiatasolla juurikaan ole merkitystä. Merellisen taistelutilan mallissa keskeisiä mallinnettavia ominaisuuksia ovat kantama, osumistodennäköisyys sekä vaikutus kohteessa.

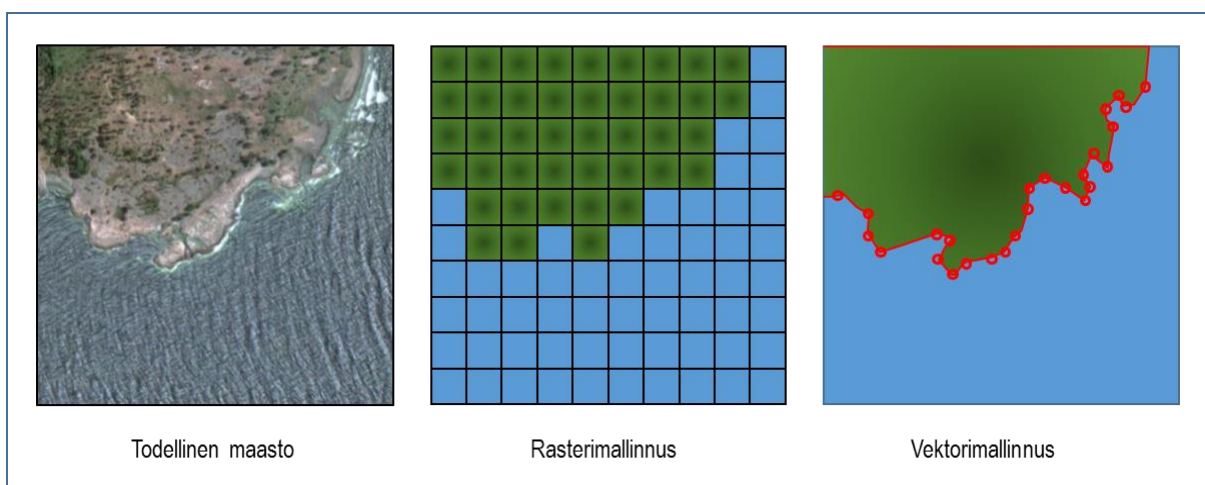
4.4.4. Toimintaympäristön mallintaminen

Toimintaympäristö muodostaa mallinnettaville joukoille ja järjestelmille toiminta-alueen, pelilaudan, joka asettaa liikkeelle ja asejärjestelmien käytölle rajoituksia. Kaikkein yksinkertaisin toimintaympäristön malli koostuisi kaksiulotteisesta koordinaatistosta, jossa mallinnettavat joukot ja järjestelmät operoisivat. Toiminta-alue määritteli siis ainoastaan siellä olevien olioiden sijaintia. Näin yksinkertainen malli ei kuitenkaan kuvaa kovin hyvin merellisen taistelutilan ominaisuuksia, eikä esimerkiksi rajoita pinta-alusten tai maalla liikkuvien joukkojen liikehdintää. Yksinkertaisessakin Merellisen taistelutilan mallissa tulee siis olla erotettuina maa- ja vesialue toisistaan. Toimintaympäristö voidaan edelleen mallintaa kaksiulotteisena, jolloin maaston korkeudelle tai veden syvyydelle ei anneta minkäänlaisia arvoja. Kaksiulotteisen kartan etuna voidaan pitää mallin yksinkertaisuutta. Toisaalta korkeustiedon puuttuminen aiheuttaa ongelmia esimerkiksi optisen tai tutkakatveen realistiseen mallintamiseen.

Kun toimintaympäristön mallintamiselta edellytetään suurempaa realistisuutta, lisätään malliin korkeustieto. Korkeusulottuvuuden lisäämistä voidaan pitää tilan mallintamisen minimiedellytyksenä. Korkeustiedon asettaminen mahdollistaa erilaisten katvealueiden määrittämisen. Sen avulla voidaan myös asettaa liikkumisrajoituksia vesialueella liikkuville yksiköille. Vesialueelle voidaan asettaa syvyysalueita esimerkiksi kahden metrin välein, jolloin pinta-alue kykenee liikkumaan vain vesialueella, jonka syvyys on suurempi kuin oma syväys.

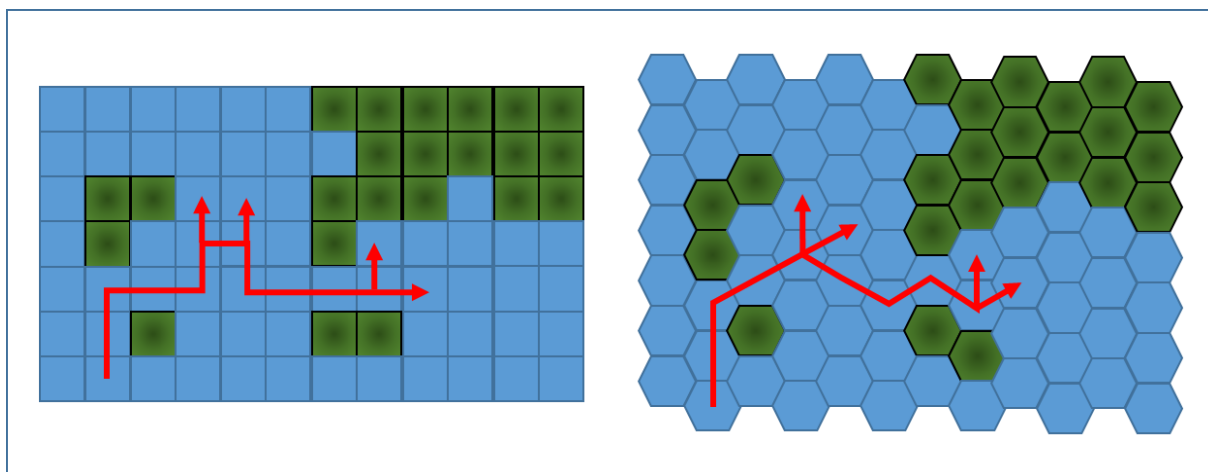
Toimintaympäristön realistisuutta voidaan lisätä antamalla jokaiselle sijaintitiedolle kuvaus maaston tyypistä. Maaston tyyppillä on erityistä merkitystä silloin, kun halutaan mallintaa joukkojen liikettä ja tulen vaikutusta. Joukkojen eteneminen metsämaastossa tai kivitörmä on luonnollisesti hitaampaa kuin aukealla paikalla. Vastaavasti epäsuoran tulen vaikutus on pienempi vahvassa kuusikossa kuin kivitörmämaastossa. [28; 47] Mitä enemmän mallissa on erityyppisiä maastoluokkia, sitä realistisemmin se vastaa todellista maailmaa. Toisaalta maaston liian yksityiskohtainen kuvaus ei välttämättä tuo kokonaisuuden kannalta lisäarvoa. Valitussa abstraktiotasossa merellinen taistelutila voitaisiin kuvitella mallinnettavan 4–5 maastoluokalla.

Toimintaympäristö voidaan mallintaa joko rasteri- tai vektorimuotoisena. Rasterimuotoinen malli toteutetaan säännöllisillä tasasuuruksilla ruuduilla, joita kutsutaan pikseleiksi. Pikseleiden koko määrittelee mallin resoluution. Vektorimuotoisessa mallissa toimintaympäristö muodostuu pisteistä ja niitä yhdistävistä vektoreista tai vektoreiden rajaamista alueista. Muodostuneet vektoriobjektit määritellään ilmoittamalla vektoreiden päätepisteiden koordinaatit. Vektoriaineisto on vapaasti skaalautuvaa eikä sen resoluutiota voida yksiselitteisesti määritellä. [16; 42] Kuvassa 17 on esitetty alueen mallintaminen rasteri- ja vektorimuodossa.



Kuva 17: Rasteri- ja vektorimallinnus

Vaikka rasterimallinnuksessa käytettävien pikseleiden tulee olla tasasuuruisia ja säännöllisiä ruutuja, niiden ei tarvitse välttämättä olla neliöitä. Monissa toimintaympäristöä kuvaavissa järjestelmissä käytetään kuusikulmionmuotoisia pikseleitä, heksagoneja, koska niiden avulla voidaan yksinkertaisemmin laskea liike viereisten pikseleiden välillä. Kuvassa 18 on esitetty liikkeen mallintaminen neliönmuotoisista pikseleistä ja heksagoninmuotoisista pikseleistä tehdyissä malleissa, joiden molempien resoluutio on 7 x 12 pikseliä. Heksagoninmuotoisten pikseleiden käyttö mahdollistaa liikkeen viereisiin pikseleihin kuudessa suunnassa siten, että askelten pituudet voidaan muuntaa suoraan pikselimääriksi. Tällöin sijaintien välisten etäisyyksien käsittely eri suuntiin on tehokasta ja analyysien suorittaminen nopeaa. [16] Yksi neliönmuotoisista pikseleistä tehdyn mallin eduista on mahdollisuus ilmoittaa sijainti suoraan suorakulmaisessa koordinaatistossa. Neliön muotoisten pikseleiden käyttö mahdollistaa myös suorakulmaisen kolmion käytön etäisyyksien ja tulenkäytön laskutoimituksissa.



Kuva 18: Pikseleiden muodon vaikutus maaston ja liikkeen mallintamiseen

Rasteri- ja vektorimallinnuksilla on molemmilla etunsa ja rajoitteensa toimintaympäristön mallintamismenetelmänä. Rasterimallinnuksella voidaan luoda suppealle alueelle resoluutioltaan tarkkoja maastokuvauksia, tällöin mallin tiedostokoko voi kuitenkin kasvaa suureksi. Vektorimallinnuksella voidaan mallintaa laajoja alueita pitäen tiedostokoko verraten pienenä, jolloin myös tiedoston käsittely on nopeaa. [42] Merellisen taistelutilan mallin näkökulmasta rasterimallinnuksen ongelmana on mallinnettavan alueen laajuus. Valitulla hierarkiatasolla tarkasteltavan alueen laajuus on kymmenistä kilometreistä satoihin kilometreihin. Esimerkiksi Virolahden ja Hankoniemen välinen etäisyys on noin 275 kilometriä ja operaatioalueen syvyys on noin 50 kilometriä. 1 metrin pikselitarkkuudella alueen mallintamiseen tarvittaisiin huikeat 13 750 000 000 pikseliä. Sadan metrin resoluutiollakin pikseleitä tarvitaan 1 375 000.

Merisodankäynnissä paikkatiedon tarkkuudella on erittäin tärkeä rooli. Alukset sijoittuvat merialueella yksittäisiksi pistemaaleiksi, joiden etäisyys toisistaan on sadoista metreistä kilometreihin. Itämeren olosuhteisiin suunniteltujen sota-alusten koko vaihtelee noin 50–150 metrin välillä. Mittasuhteilla on suora yhteys tulenkäytön mallintamisen edellyttämään tarkkuuteen. Tulenkäytön mallintaminen 50 metrin pituiseen maaliin, jonka sijainti tunnetaan hehtaarin–neliökilometrin tarkkuudella, ei palvele tarkoitustaan. Vektorimallinnus mahdollistaa yksittäisen kohteen sijainnin ja ominaisuustietojen muokkaamisen [42]. Alueen laajuudesta ja paikkatiedon tarkkuusvaatimuksesta johtuen vektorimuotoinen kartta vaikuttaa soveltuvan käyttötarkoitukseen rasterimallinnukseen perustuvaa karttaa paremmin. Koska Merellisen taistelutilan mallin tarkoituksena on mallintaa nimenomaan Merivoimien operaatioaluetta, voidaan perusolettamana käyttää Itämerta kuvaavaa karttapohjaa.

5. MALLIKUVAUS

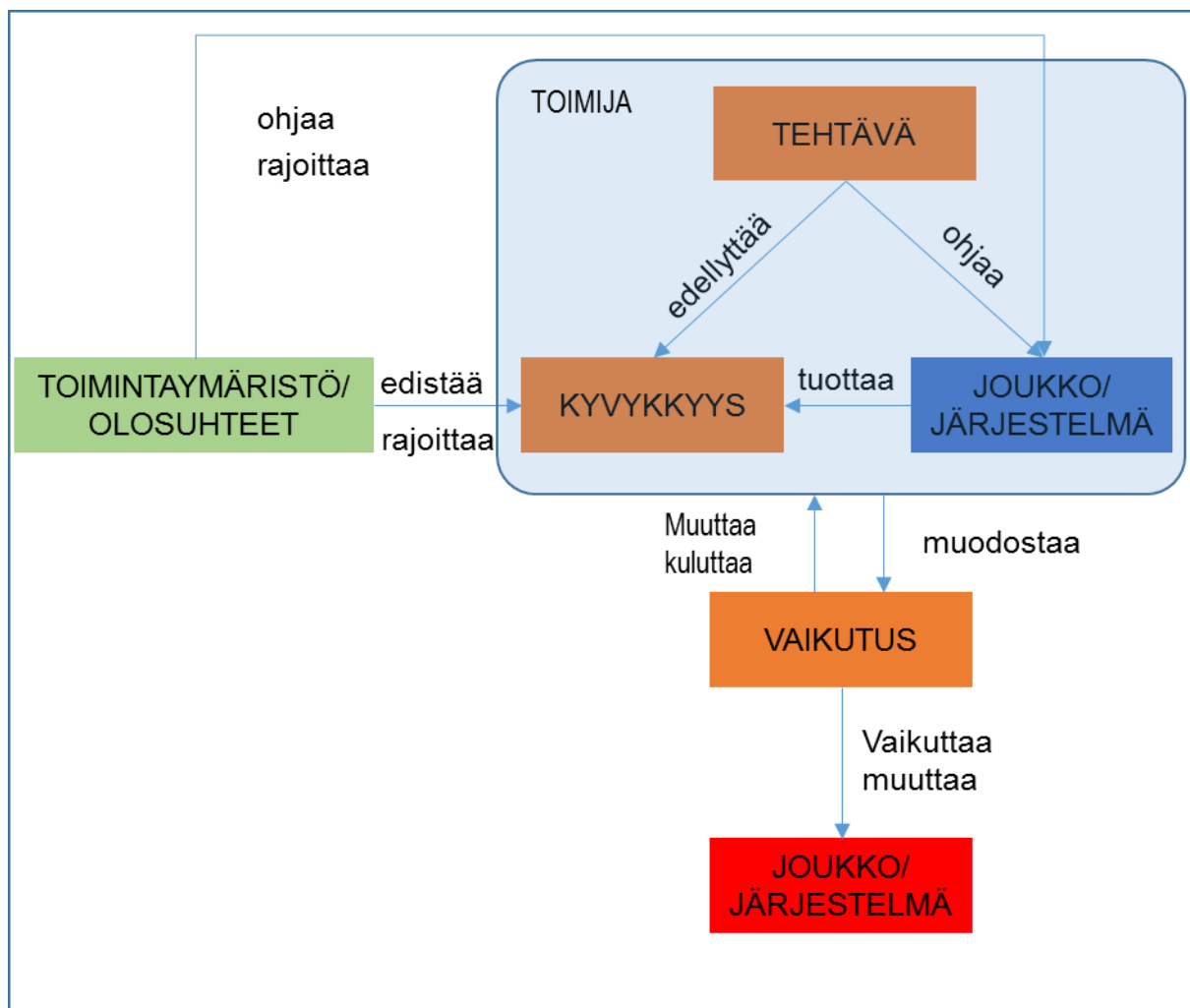
Tässä luvussa vastataan tutkimuksen pääkysymykseen ”Millainen on operatiivisen suunnittelun tarpeisiin tehty Merellisen taistelutilan malli?” Vastaus muodostuu tutkimuksen päämäärän mukaisesta mallikuvauksesta. Mallikuvauksen laadinnassa on seurattu Kai Koskimiehen (Oliokirja, 2000) sekä Martin Fowlerin ja Kendal Scottin (UML, 2002) ohjeita mallien kuvaamisesta osana ohjelmistokehitysprosessia. [10; 25]

5.1. Merellisen taistelutilan metamalli

Metamallit ovat kuvauksia ongelman ratkaisemiseksi kehitettävän mallin ja simulaation toiminnasta. Metamallin avulla voidaan hahmottaa sitä, mitkä ovat mallissa olevien ja sinä esitettävien metaobjektien väliset suhteet, vaikutukset, ilmiöiden vuorovaikutussuhteiden hierarkia sekä järjestys mallin osien ja kokonaisuuksien välillä. Metamallin avulla pyritään havainnollistamaan varsinaisen mallin ohjelmistokehittäjille miten mallissa olevat ilmiöt suhtautuvat toisiinsa ja mitä lainalaisuuksia mallissa on oltava voimassa. [8; 22; 35] Merellisen taistelutilan metamalli on esitetty kuvassa 19.

Merellisen taistelutilan mallin metamallin laatiminen aloitetaan tässä tapauksessa mallin geneerisen tehtävän määrittämisellä, eli mitä mallin toimijat tekevät. Kuten tähänastisessa tutkimuksessa on käynyt ilmi, Merellisen taistelutilan malli on taistelun kulkua simuloiva kokonaisuus, jossa taistelun luonteen mukaisesti osapuolet pyrkivät vaikuttamaan toisiinsa. Mallin tarkoituksena on selvittää sotilaallisten voimakeinojen käyttöön liittyvää problematiikkaa. Ongelman ratkaisun kannalta on keskeistä selvittää osapuolten toisiinsa kohdistavan kuluttavan vaikutuksen määrä ajan funktiona, eli kuinka paljon osapuolet kykenevät kuluttamaan toisiaan ennen kuin niiden oma voima on kulutettu loppuun. Tästä voidaan johtaa mallin ensimmäinen meta-objekti eli tehtävä, joka muotoillaan Merellisen taistelutilan metamalliin seuraavasti: ”Osapuolten tehtävänä on vaikuttaa toisen osapuolen kykyyn käyttää voimaa ja estää sitä käyttämästä voimaa itseä vastaan. Vaikuttamista jatketaan, kunnes toisen osapuolen voima on ehtynyt.” Tehtävän toteuttaminen edellyttää kyvykkyyksiä, eli kykyä saada aikaan haluttu vaikutus. Kyvykkyys on metaobjekti, joka voi muuttaa joukon ominaisuuksia. Käytännössä kyvykkyyydet kuvaavat ase- tai valvontajärjestelmien toimintaa, kuten esimerkiksi ohjusta, joka osuessaan joukkoon, esimerkiksi laivaan, pienentää sen haavoittuvuusarvoa oman vaikutusarvonsa mukaisen määrän. Kuvan 19 mukaisesti tehtävällä on vuorovaikutussuhde sekä kyvykkyyteen että joukkoon/järjestelmään (myöhemmin joukko). Kyvykkyydellä on riippuvuussuhde joukkoon, joka tuottaa halutun kyvykkyyden. Toisin sanoen joukko toimii kyvykkyyden alustana. Joukko voi esiintyä mallissa ilman kyvykkyyttä, mutta kyvykkyyttä ei

voi esiintyä ilman sitä toteuttavaa joukkoa. Tehtävä ohjaa joukkoa käyttämään kyvykkyyttä tavoitteen saavuttamiseksi.



Kuva 19: Merellisen taistelutilan metamalli

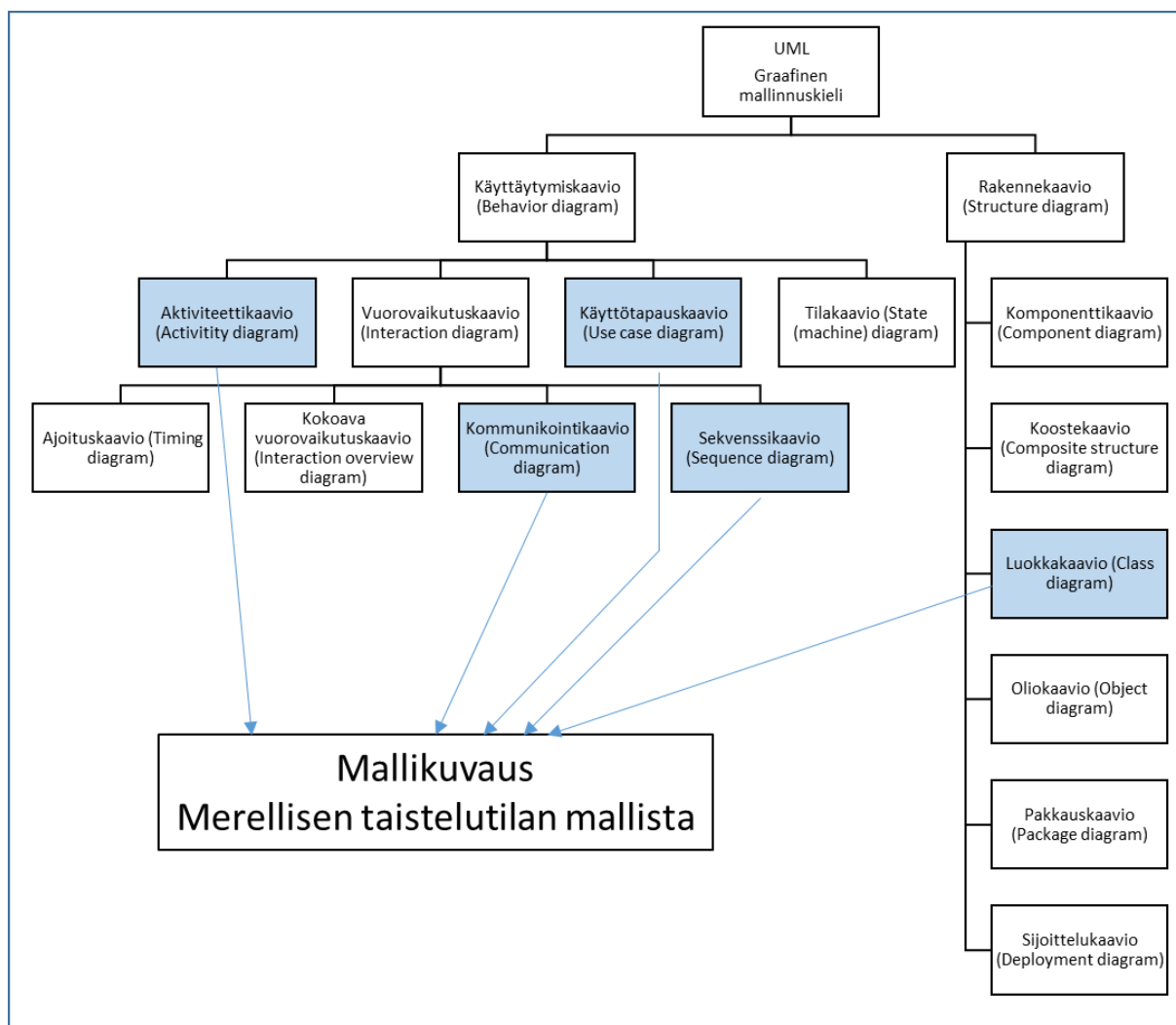
Toimintaympäristöllä/olosuhteilla (myöhemmin toimintaympäristö) on vaikutussuhde sekä kyvykkyyteen että joukkoon. Toimintaympäristö voi joko rajoittaa tai edistää kyvykkyyttä. Esimerkiksi heikko optinen näkyvyys heikentää tulenjohtajan kykyä havaita kohde. Vastavasti havaintoaseman sijoittaminen korkeampaan maastonkohtaan kasvattaa optisen horison- tin etäisyyttä. Toimintaympäristö määrittelee merellisen taistelutilan mallin ”pelilaudan”, joka ohjaa joukon käyttäytymistä mallissa. Mallin toimintaympäristö määrittelee esimerkiksi sen, missä joukko voi olla ja missä se voi liikkua. Toimintaympäristö voi rajoittaa kyvykkyyden toimintaa esimerkiksi estämällä havainnot esteen läpi tai kasvattamalla havaitsijan ilmaisu- kynnystä suhteessa joukkoon. Ympäristö myös toimii mallin taistelutilana, jossa kaikki toi- minta tapahtuu.

Kyvykkyys määrittelee vaikutuksen. Vaikutus on tapahtuma, joka muuttaa vaikutuksen kohteen eli joukon, ominaisuuksia. Vaikutuksessa kyvykkyyden ominaisuudet, jollaisia voivat olla esimerkiksi vaikutus kohteessa tai osumistodennäköisyys, yhdistyvät vaikutettavan osapuolen ominaisuuksien, kuten esimerkiksi haavoittuvuuden, kanssa. Lopputuloksena vaikutus muuttaa joukon ominaisuuksia, esimerkiksi pienentämällä sen suorituskykyarvoja, tai mikäli vaikutus kohteessa ylittää määrätyn raja-arvon, poistaa joukon kokonaan. Tällöin kyvykkyys, jonka kyseinen meta-objekti on tuottanut, poistuu myös luonnollisesti simulaatiosta.

Vaikutuksella on myös vaikutussuhde takaisin toimijaan. Toimijan käyttäessä kyvykkyyttään esimerkiksi X kappaletta ohjusta, sen oma suorituskyky laskee käytetyn vaikutuksen verran.

5.2. Metamallista mallikuvaus

Metamalli kuvaa Merellisen taistelutilan mallin perusidean. Metamalli on siis mallia yhden abstraktiotason korkeammalla oleva käsite. [22] Varsinainen mallikuvaus on toteutettu graafisella UML-mallinnuskielellä (Unified Modeling Language) sekä sitä täydentävillä olioperusteisen ohjelmistokehitysprosessin mukaisilla kuvauksilla. UML-mallinnuskieli perustuu Object Management Groupin (OMG) vuonna 1997 standardoimalle graafiselle mallinnuskielelle, joka sisältää 13 erilaista kaaviota. Kaavioista kuusi kuvaa mallin rakennetta, kolme kuvaa mallin käyttäytymistä ja neljä kuvaa mallin vuorovaikutusta. UML:n rakenne on esitetty kaaviossa 1. Mallikuvauksessa käytetty mallinnuskieli ei ole suorittava, eli mallinnuskielen avulla ei ohjelmoida mallia toimivaksi. Mallinnuskieli kuvaa järjestelmän rakennetta graafisesti yleisellä tasolla Mallinnuskielelle on tyypillistä korkea abstraktio matalalla resoluutiolla. Merellisen taistelutilan mallin kuvauksessa käytetään viittä UML:n mukaista kaaviota (kaavio 1). Vaikka kaavioiden käyttö on verraten vapaata, on mallinnuskielten rakenne kuitenkin määritetty tarkasti, jotta mallit eivät olisi tulkinnanvaraisia. [4; 10; 25; 51]



Kaavio 1: Merellisen taistelutilan mallikuvas UML-mallinnuskielen avulla [51]

5.3. Vaatimusanalyysi Merellisen taistelutilan mallista

Mallikuvaus aloitetaan vaatimusanalyysillä. Vaatimusanalyysi on sanallinen kuvaus, joka kuvailee valmiin mallin toimintaa. Vaatimusanalyysin tarkoituksena on määrittää mallin käyttötapaudet, käsitteellisen mallin luokat, mallisanasto, assosiaatiot sekä erotella attribuutit sekä periytymissuhteet [25]. Vaatimusanalyysi perustuu Esiupseerikurssi 65:lla tehtyyn tutkimukseen *Merellisen taistelutilan mallin käyttäjävaatimukset* [49], merellisen taistelutilan metamalliin sekä Merivoimien operatiivisen suunnittelun asiantuntijoille tehtyyn kyselyyn (alaluku 4.2). Käyttäjävaatimustutkimuksen keskeisimmät vaatimukset on esitetty tekstikehyksissä 1–6 jotka on sijoitettu vaatimusanalyysin lomaan selventämään vaatimusanalyysin perusteita.

VAATIMUSANALYYSI

Merellisen taistelutilan mallilla havainnollistetaan tapahtumia Suomen merivoimien päätehtävään liittyvällä operaatioalueella. Tapahtumat esitetään visuaalisessa muodossa maastoon ja aikaan sitoen. Mallin tuottamaa informaatiota hyödynnetään operatiivisessa ja taktisessa suunnittelussa eri johtamistasojen esikunnissa. Suunnittelua tukevat mallin tuottamat simulaatiot ja laskennalliset todennäköisyydet, joiden avulla voidaan testata tehtyjen suunnitelmien toimivuutta.

Tekstikehys 1: Vaatimukset mallin tuottamille simulaatioille [49]

- Mallin on kyettävä tuottamaan simulaatio pinta- ja ilmatorjuntaohjus-, rannikkotykitön ammus- ja miina-asejärjestelmien käyttäytymisestä deterministisillä ja stokastisilla parametreilla sekä näiden yhdistelmillä.
- Mallin on kyettävä tuottamaan simulaatio pinta-alusten, taisteluajoneuvojen ja yksiköiden liikkeestä deterministisillä ja stokastisilla parametreilla sekä näiden yhdistelmillä. Simulaation tulee ulottua 24h tulevaisuuteen.
- Mallin on kyettävä simuloimaan sääolosuhteiden vaikutusta edellä mainittuihin joukkoihin ja asejärjestelmiin sekä määrättyihin valvontajärjestelmiin.

Merellisen taistelutilan malli on ohjelmisto, joka käsittelee ja esittää siihen syötetyn informaation. Informaatio perustuu mallin käyttäjän asettamiin parametreihin tai järjestelmän simuloimiin parametreihin.

Mallinnettaville yksiköille ja asejärjestelmille syötetään haluttuja arvoja tai malli tuottaa niille stokastisia arvoja. Esimerkkinä tarkastelusta on alaluvussa 4.1 esitetyn skenaarion mukainen maihinnousuoperaation ja siihen liittyvien operatiivisten kysymysten tarkastelu. Simulaatiossa, jota tässä tapauksessa kutsutaan peliksi, on kaksi tai useampia osapuolia. Osapuolilla on käytössään tarkasteltavan skenaarion mukaisia suorituskykyjä, joita kutsutaan joukoiksi (joukko/järjestelmä (kuva 19)). Peli koostuu sarjasta pelikierroksia siten, että kullakin kierroksella osapuolet käyttävät joukkojansa. Pelikierros koostuu sarjasta joukkojen pelivuoroja. Pelivuorollaan kukin joukko liikkuu ja/tai havaitsee ja/tai laukaisee ja/tai raivaa.

Merellisen taistelutilan mallin käyttäjävaatimuksissa mallille asetettiin vaatimuksia joukkojen esittämiseksi (tekstikehys 2).

Tekstikehys 2: Vaatimukset mallinnettavista joukoista [49]

- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa merellisessä taistelutilassa olevat pinta-alukset.
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa merellisessä taistelutilassa olevat ilma-alukset.
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa merellisessä taistelutilassa olevat taisteluajoneuvot.
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa merellisessä taistelutilassa olevat yksiköt.

Aluksi kaikki joukot asetetaan lähtöpaikkoihin. Kukin joukko saa aluksi tietyn määrän asejärjestelmiä ampumatarvikkeineen ja/tai valvontajärjestelmiä (Kyvykkyys (kuva 19)). Kukin joukko kykenee liikkumaan omalla vuorollaan omalle joukolle määritetyn määrän askeleita. Joukot liikkuvat kartalla (Toimintaympäristö / olosuhteet (kuva 19)) sijainnista toiseen kohti tavoitetta (Tehtävä (kuva 19)). Tavoitetta kohti joukot liikkuvat määrättyjä reittejä pitkin. Kukin sijainti vaatii yhden askeleen. Sijainti voi olla joka maa-alueella tai vesialueella.

Merellisen taistelutilan mallin käyttäjävaatimuksia käsittelevän tutkimuksen mukaan operatiiviset käyttäjät asettivat karttaan liittyviä yksityiskohtaisempia vaatimuksia, jotka on esitetty tekstikehyksessä 3.

Tekstikehys 3: Vaatimukset mallinnettavasta toimintaympäristöstä [49]

- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa Itämeren alueen maaston korkeustiedot ja lentoesteet 200km sisämaahan rantaviivasta.
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa merenpohjan muodot, syvyys-tiedot ja pohjan laatu Itämeren alueelta.
- Mallin on kyettävä esittämään liikenneviraston hallinnoimien merenkulkuväylien sijaintiedot, syvyystiedot, alituskorkeudet ja turvalaitteet.
- Mallin on kyettävä esittämään puolustushallinnon hallinnoimien merenkulkuväylien sijaintiedot, syvyystiedot, alituskorkeudet ja turvalaitteet.
- Mallin on kyettävä esittämään Itämeren alueen muiden valtioiden julkisten merenkulkuväylien sijaintiedot, syvyystiedot, alituskorkeudet ja turvalaitteet.
- Mallin on kyettävä esittämään liikenneviraston ylläpitämän tierekisterin mukaisen tieverkon sijaintitiedot, tyyppi, päällyste, kantavuus sekä paino, leveys ja rajoitukset.

Kartalla voi olla miinoitettuja alueita. Miinoitetut alueet kuuluvat jollekin pelin osapuolelle. Miinoitettujen alueiden sijainti ei ole toisen osapuolen tiedossa. Miinoitetulle alueelle tullessa joukko joko tuhoutuu, vaurioituu, ryhtyy raivaamaan tai sille ei tapahdu mitään. Mikäli miinoitetulle alueelle tulee oman osapuolen joukko, joukolle ei tapahdu mitään. Mikäli miinoitetulle alueelle tulee toisen osapuolen joukko joka ei ole raivaaja, se joko se joko vaurioituu, tuhoutuu tai sille ei tapahdu mitään. Vaurioitumisen tai tuhoutumisen aiheuttaa miinaräjähdyks. Miinaräjähdyks määräytyy miinoitetun alueen estearvoa kuvaavan, matemaattiseen laskenta-kaavaan perustuvan, todennäköisyyden perusteella. Mikäli miinoitetulle alueelle tulee toisen osapuolen raivaaja, se ryhtyy raivaamaan miinoitetta erikseen määrättyllä nopeudella. Miinoitetun alueen estearvo laskee joko miinaräjähdyksen tai raivauksen seurauksena. Miinoite paljastuu toiselle osapuolelle, kun siihen tulee raivaaja tai tapahtuu miinaräjähdyks. Toisen osapuolen raivaajat hakeutuvat paljastuneelle miinoitetulle alueelle. Toisen osapuolen muut joukot kuin raivaajat joko kiertävät paljastuneen miinoitetun alueen tai odottavat raivauksen päättymistä.

Vaatimukset miinasodankäynnin mallintamiseen liittyen on esitetty tekstikehyksessä 4.

Tekstikehys 4: Vaatimukset miinasodankäynnin mallintamiselle [49]

- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa merivoimien laskettujen merimiinojen tyyppi ja vaikutusalue sekä miinoitteen estearvo ja vaara-alue.
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa merivoimien lasketut merimiinat.
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisesti merivoimien miinantorjuntajärjestelmien vaikutusalue.

Osapuolet pyrkivät omalla vuorollaan tuhoamaan toistensa joukkoja käytössään olevilla asejärjestelmillä.

Vaatimukset mallinnettavista asejärjestelmistä on esitetty tekstikehyksessä 5.

Tekstikehys 5: Vaatimukset ohjus- ja tykistötulenkäytön mallintamiselle [49]

- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa merivoimien pintatorjuntaohjusjärjestelmät.
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa merivoimien ohjusilmatorjuntajärjestelmät.
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa merivoimien taistelujärjestelmillä ohjatut ammusilmatorjuntajärjestelmät.
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa merivoimien manuaalisesti ohjatut yli 20mm:n ammusilmatorjuntajärjestelmät.
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisesti merivoimien liikkuva rannikkotykistö sekä heittimistö (tuliyksiköt).
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisesti merivoimien kiinteä rannikkotykistö (tuliyksiköt).

Joukot havaitsevat toisensa valvontajärjestelmillä. Valvontajärjestelmät ilmoittavat havainto-alueelleen tulevan toisen osapuolen joukon sijainnin asejärjestelmille. Havainto-alueeseen vaikuttavat valvontajärjestelmän havaintoetäisyys, valvontajärjestelmän ja joukon sijainnin välissä olevien sijaintien korkeustieto (maastoeste) sekä olosuhteet. Valvontajärjestelmä ei havaitse joukkoa, mikäli valvontajärjestelmän havaintosuora leikkaa niiden välissä olevan sijainnin korkeustiedon eli maastoesteen. Olosuhteet pienentävät havaintoetäisyyttä matemaattisen laskentakaavan perusteella. Sijainti välitetään kaikille oman osapuolen asejärjestelmille. Sijainnin välittyminen voi joko onnistua tai epäonnistua. Välitys onnistuu aina samalle joukolle kuuluvan asejärjestelmän ja valvontajärjestelmän välillä. Oman osapuolen muille joukoille välittäminen onnistuu tai epäonnistuu matemaattiseen laskentakaavaan perustuvan todennäköisyyden perusteella.

Vaatimukset valvonta- ja viestijärjestelmien mallintamiselle on esitetty tekstikehyksessä 6.

Tekstikehys 6: Vaatimukset valvonta- ja maalinosoitusjärjestelmien mallintamiselle [49]

- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa merellisessä taistelutilassa olevien tutkajärjestelmien peitto sekä esteiden aiheuttamat katvealueet.
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa vedenalaisen valvonnan järjestelmien peitto sekä esteiden aiheuttamat katvealueet.
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa merelliseen taistelutilaan sijoitettujen elektronisen sodankäynnin häirintä- ja tiedustelujärjestelmien peitto sekä esteiden aiheuttamat katvealueet.
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa radioyhteyksiin perustuvien viestijärjestelmien peitto sekä esteiden aiheuttamat katvealueet.
- Mallin on kyettävä esittämään numeerisessa muodossa radioyhteyksiin perustuvien viestijärjestelmien viestinvälityskyky.
- Mallin on kyettävä esittämään visuaalisessa muodossa kiinteisiin yhteyksiin perustuvien viestijärjestelmien peitto.
- Mallin on kyettävä esittämään numeerisessa muodossa kiinteisiin yhteyksiin perustuvien viestijärjestelmien viestinvälityskyky.

Saatuaan toisen osapuolen sijainnin asejärjestelmä tarkastaa, onko sillä käytettävissään ampumatarvikkeita ja onko sijainti oman asejärjestelmän kantamassa. Mikäli sijainti on asejärjestelmän kantamassa ja sillä on käytettävissään ampumatarvikkeita, asejärjestelmä tarkastaa onko oman ja toisen osapuolen sijainnin välissä sellainen sijainti, joka estää laukaisun. Laukaisun voi estää sijainti jonka korkeustieto leikkaa käytettävän asejärjestelmän lentoreitin. Mikäli kyseessä on tutkahakupäällä varustettu asejärjestelmä, se tarkastaa vielä onko maalin läheisyydessä sellainen sijainti, jonka korkeustieto asettuu hakupään hakualueelle, jolloin laukaisu estyy.

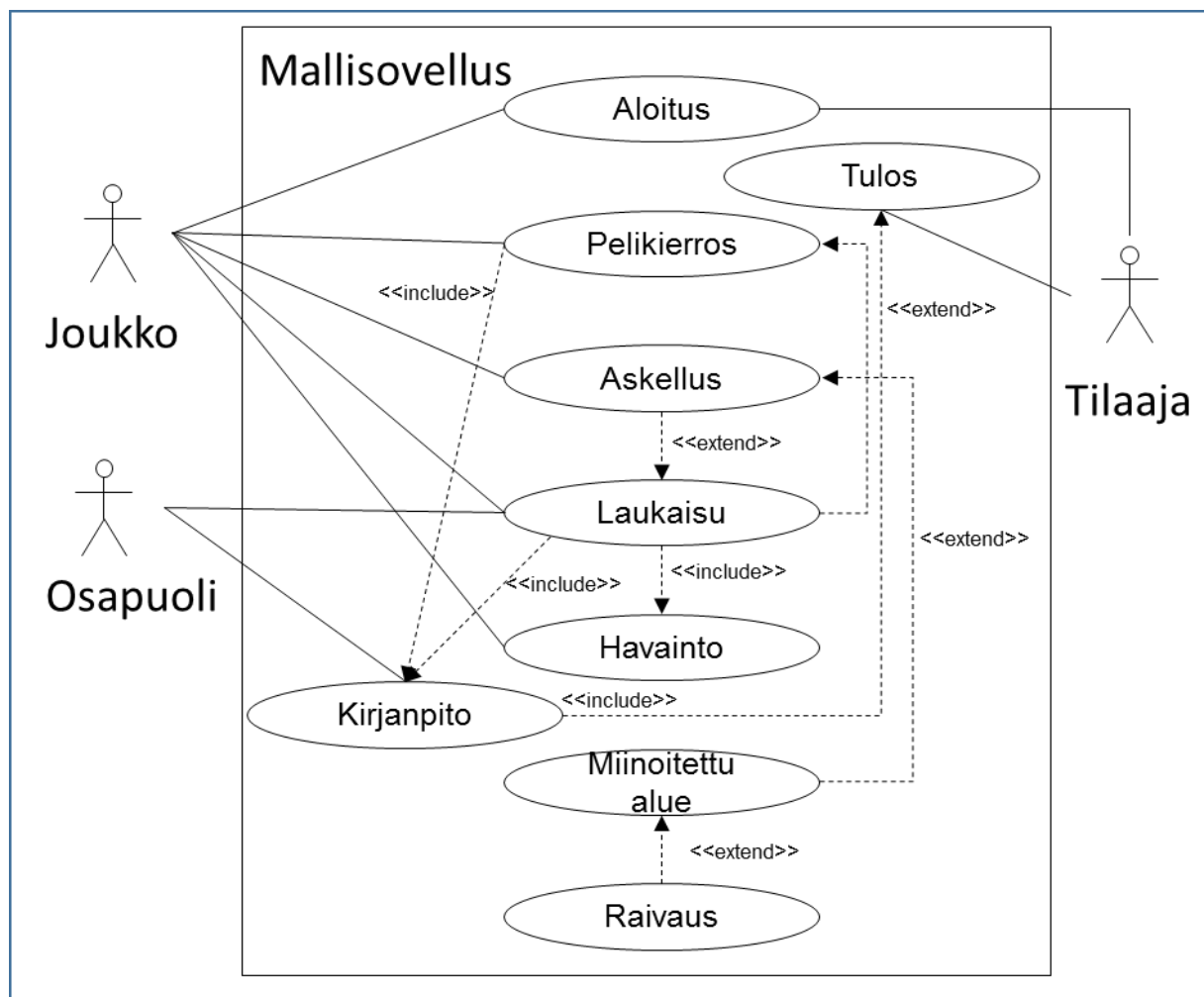
Kun laukaisun ehdot täyttyvät, asejärjestelmä ilmoittaa omalle osapuolelle laukaisuvalmiuden. Osapuoli määrittää sijaintiin laukaisevat asejärjestelmät ja laukausten määrät. Saatuaan osapuolelta laukaisuluvan asejärjestelmä laukaisee oman asekuormansa kohti sijaintia. Laukaisu pienentää vastaavalla määrällä asejärjestelmän ampumatarvikemäärää. Laukaisu muodostaa sijaintiin kullekin asejärjestelmälle ominaisen vaikutusalueen. Vaikutusalueella oleva joukko joko tuhoutuu, vaurioituu tai sille ei tapahdu mitään. Vaikutus määräytyy asejärjestelmän vaikutusarvoa kuvaavan, matemaattiseen laskentakaavaan perustuvan, todennäköisyyden perusteella. Joukosta riippuen sillä voi olla käytössään torjuntajärjestelmiä, jotka vaikuttavat asejärjestelmän vaikutusarvon todennäköisyyteen pienentävästi. Vastaavasti torjuntajärjestelmän käyttö pienentää torjuntajärjestelmän ampumatarvikemäärää käyttöä vastaavalla summalla.

Peli loppuu kun toinen osapuoli on saavuttanut tavoitteensa tai toinen osapuoli on menettänyt määrätyn osuuden joukoistaan.

Peli pitää kirjaa osapuolten kulumisesta, tapahtumista ja liikkeistä pelin aikana. Peli tuottaa numeerisia arvoja kunkin pelikierroksen tuloksista. Peli voidaan tarvittaessa käydä läpi graafisena esityksenä.

5.4. Käyttötapauskaavio ja käyttötapausten määrittely

Vaatimusanalyysin perusteella peli (simulaatio) on jaettu pienempiin, helpommin hahmotettaviin kokonaisuuksiin, joita kutsutaan käyttötapauskaavioiksi. [25] Kaaviossa 2 on esitetty alustava mallisovelluksen käyttötapauskaavio, josta ilmenee kunkin käyttötapausten välinen suhde toisiinsa. Käyttötapauskaavio on päivittyvä kaavio, jota voidaan tarvittaessa muokata ohjelmistokehitystyön aikana.



Kaavio 2: Mallisovelluksen käyttötapauskaavio

Kaavion 2 mukaisesti mallista on erotettavissa käyttötapauksia ja toimijoita (actor). Toimija on rooli, joka käyttäjällä on järjestelmän suhteen [10]. Kaaviossa on kolme toimijaa, joista ainoastaan ”tilaaja” on fyysinen, mallisovellusta käyttävä henkilö. Toimijat suorittavat käyttötapauksia, ja vaikka Merellisen taistelutilan mallissa on useampia toimijoita, niillä on järjestelmän näkökulmasta kaikilla sama rooli. Seuraavissa kappaleissa esitellään merellisen taistelutilan mallin keskeisimmät ja yleisimmät käyttötapaukset. Osa käyttötapauksista esitellään myös sekvenssikaavioina toimintojen havainnollistamiseksi.

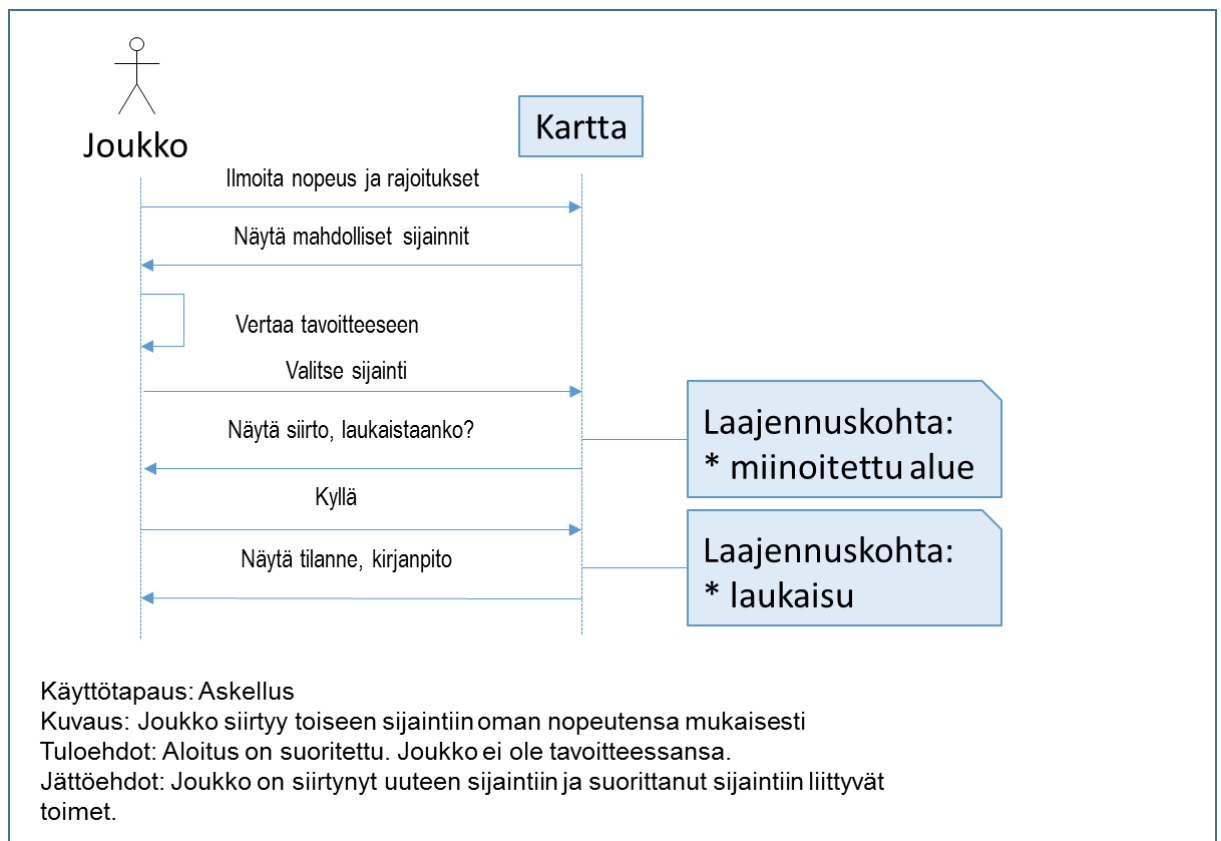
KÄYTTÖTAPAUKSET

Aloitus. Pelisovellus alustetaan määrittämällä pelin osapuolet. Kullekin osapuolelle määritetään tavoite ja joukot. Joukot sijoitetaan lähtöpaikoille ja miinoitetut alueet kartalle. Kullekin joukolle annetaan sen tarvitsemat asejärjestelmät, ampumatarvikkeet ja valvontajärjestelmät. Pelille määritetään olosuhteet.

Pelikierros. Kaikille joukoille tehdään järjestyksessä seuraavat toimet: askellus, havainto, laukaisu ja raivaus. Pelikierros toteutuu samanlaisena jokaisella joukolla riippumatta joukon luokasta. Esimerkiksi kiinteän valvontasensorin askelmäärä = 0. Jokaisen pelikierroksen jälkeen suoritetaan kirjanpito. Pelikierroksia jatketaan kunnes toinen osapuoli on saavuttanut tavoitteen tai toiselle osapuolelle on tuotettu haluttu määrä tappioita.

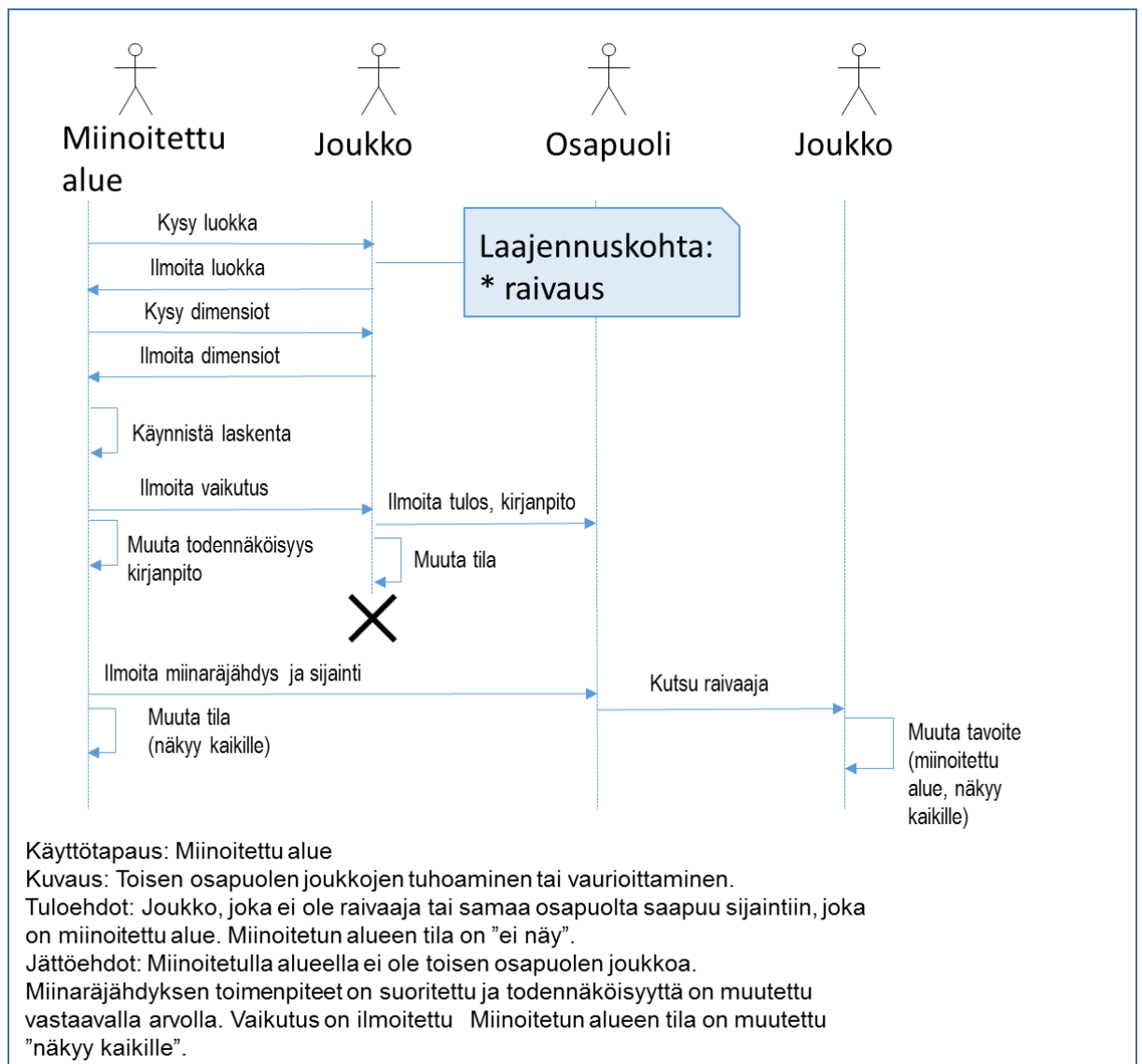
Kirjanpito. Pelikierroksen tulos kirjataan kirjanpitoon. Kirjanpito vertaa pelin tavoitetta pelikierrosten kumulatiiviseen tulokseen ja päättää pelikierrosten jatkamisesta tai pelin lopettamisesta. Kirjanpito muodostaa pelin lopputuloksen, jota analysoimalla tilaaja vastaa pelille asetettuihin tutkimuskysymyksiin.

Askellus. Joukko ei ole päässyt tavoitteeseensa tai sen täytyy siirtyä toiseen sijaintiin voidakseen käyttää asejärjestelmää. Joukolle esitetään kartalta kohdepaikat sen oman nopeuden määrittämän askelmäärän rajoissa. Sijainteihin siirrytään vierekkäisten sijaintien muodostamaa polkua pitkin. Joukko tarkastaa sille alustuksessa asetetut tavoitteet ja valitsee optimaalisen polun kohti tavoitetta, ja joukko siirretään sijaintiin. Samassa sijainnissa ei voi olla kahta joukkoa. Mikäli kyseessä ei ole raivaaja, joukko ei voi siirtyä toisen osapuolen paljastuneen miinoitetun alueen läpi, eikä sijainti voi sijaita miinoitetulla alueella. Mikäli kyseinen joukko on raivaaja, menetellään kuten käyttötapauksessa raivaus. Mikäli sijainti on miinoitettu alue, joka ei ole paljastunut, menetellään kuten käyttötapauksessa miinoitettu alue. Käyttötapaukskuvaus ja sekvenssikaavio on esitetty kaaviossa 3.



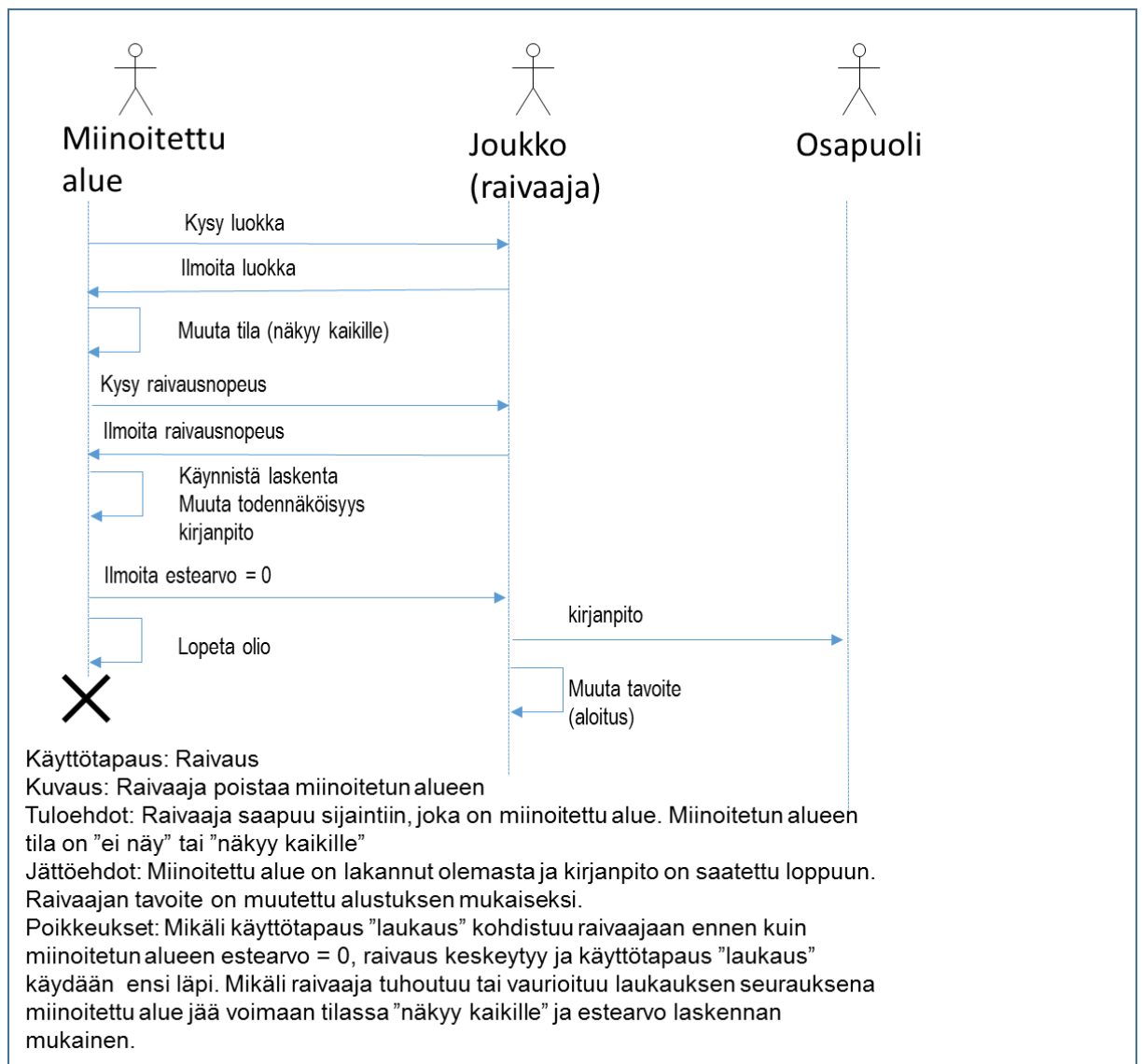
Kaavio 3: Käyttötapausten askellus kuvaus ja sekvenssikaavio

Miinoitettu alue. Joukko on päätnyt toisen osapuolen miinoitetulle alueelle. Joukko liikkuu polkua, joka kulkee miinoitetun alueen läpi. Mikäli kyseessä on raivaaja, menetellään kuten käyttötapauksessa raivaus. Miinoitettu alue kysyy joukolta sen dimensioid. Miinoitettu alue laskee estearvoa kuvaavan, matemaattiseen laskentakaavaan perustuvan, todennäköisyyden perusteella miinaräjähdyksen mahdollisuuden ja vaikutuksen. Miinoitettuun alueeseen liittyvä laskentamallin pohdinta on esitetty alaluvussa 4.4. Miinoitettu alue ilmoittaa miinaräjähdyksen vaikutuksen joukolle. Joukko muuttaa oman tilansa miinaräjähdyksen vaikutuksen mukaisesti. Miinoitettu alue ilmoittaa kaikille osapuolille ja joukoille miinaräjähdyksestä sekä miinoitetun alueen sijainnin. Miinoitetun alueen estearvo laskee miinaräjähdyksen verran. Miinoitetun alueen käyttötapauskuvauksia ja sekvenssikaavio on esitetty kaaviossa 4.



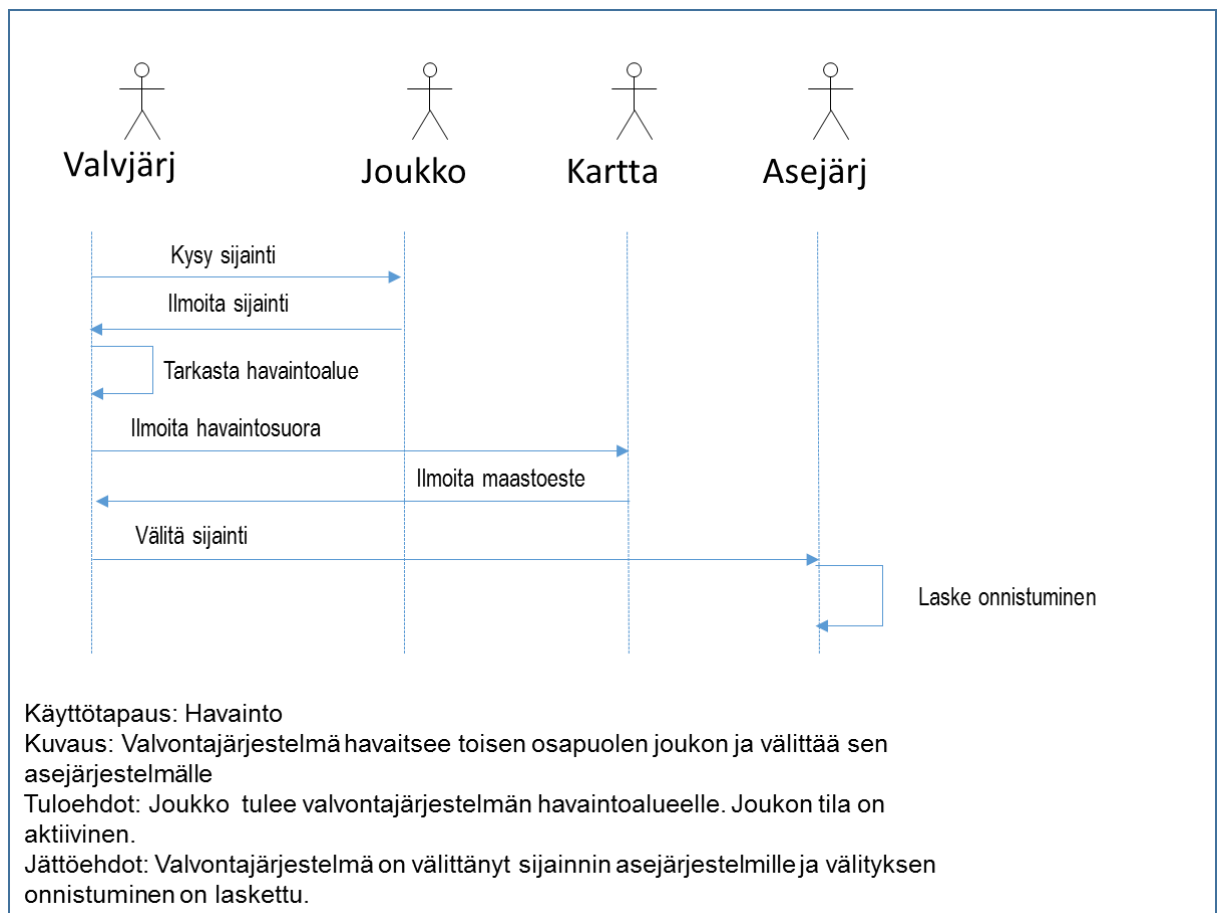
Kaavio 4: Käyttötapausten miinoitettu alue kuvaus ja sekvenssikaavio

Raivaus. Miinoitettu alue on paljastunut kaikille osapuolille joko miinaräjähdyksen tai raivaajan toimesta. Raivaaja siirtyy käyttötapausten askellus mukaisesti miinoitetulle alueelle, jonka tila on "näky kaikille". Raivaaja pienentää kullakin pelikierroksella miinoitetun alueen estearvoa oman raivauskykynsä mukaisen määrän. Raivaaminen jatkuu, kunnes miinaan ajon todennäköisyys on 0. Miinoitettu alue lakkaa olemasta. Raivauksen käyttötapauskuvaus ja sekvenssikaavio on esitetty kaaviossa 5.



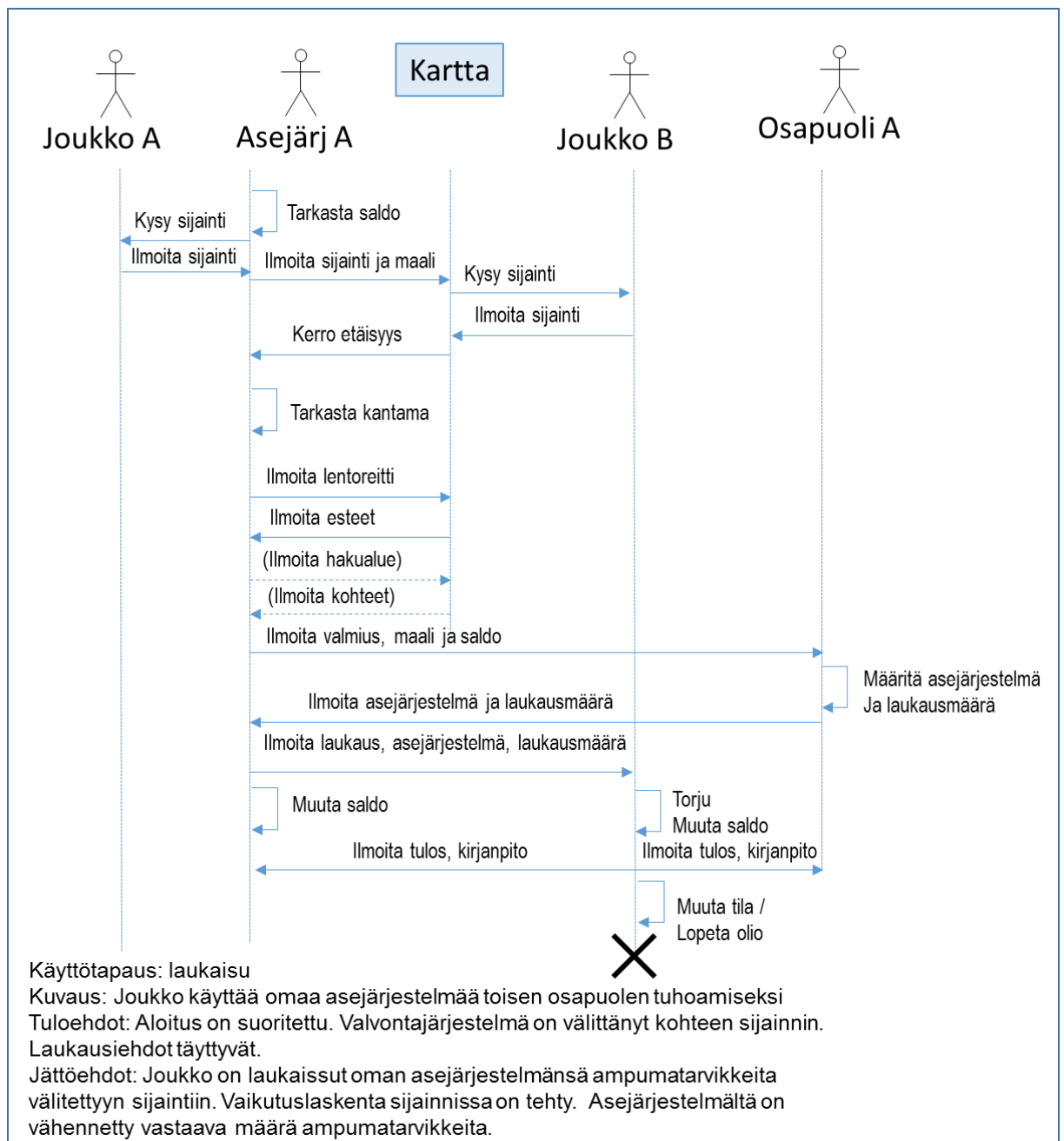
Kaavio 5: Käyttötapausten raivaus kuvaus ja sekvenssikaavio

Havainto. Joukko on tullut toisen osapuolen valvontajärjestelmän havaintoalueelle. Valvontajärjestelmä tarkastaa, ettei maasto estä sitä havaitsemasta joukkoa. Valvontajärjestelmä kysyy joukolta sen luokan, sijainnin ja liiketekijät. Valvontajärjestelmä ilmoittaa joukon omalle osapuolelle. Valvontajärjestelmä laskee matemaattiseen laskentakaavaan perustuvan ilmoituksen onnistumisen todennäköisyyden kullekin oman osapuolen asejärjestelmälle. Mikäli asejärjestelmä ja valvontajärjestelmä sijaitsevat samassa joukossa, ilmoituksen onnistumistodennäköisyys on 1. Käyttötapauskuvaus ja sekvenssikaavio on esitetty kaaviossa 6.



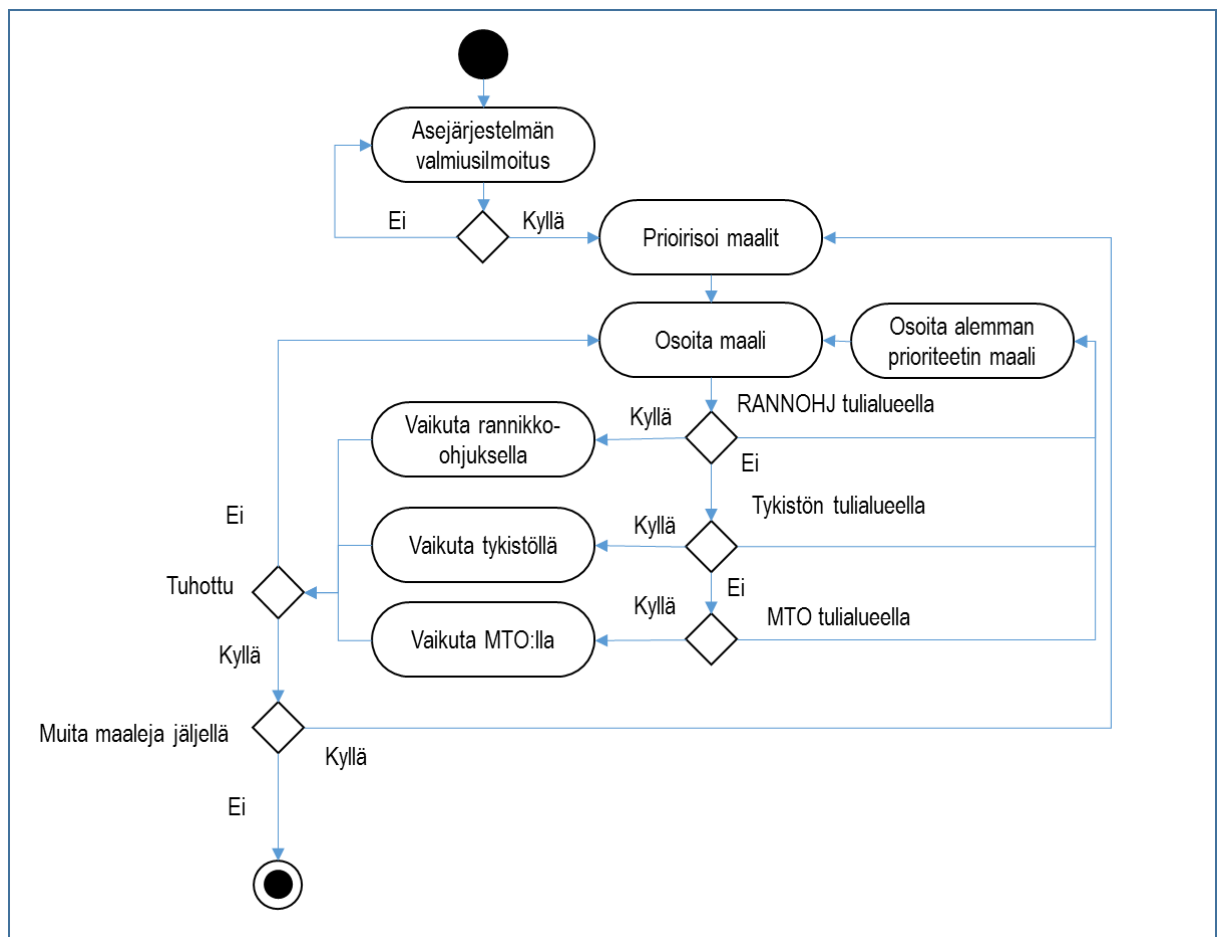
Kaavio 6: Käyttötapausten havainto kuvaus ja sekvenssikaavio

Laukaisu. Asejärjestelmä on saanut valvontajärjestelmältä ilmoituksen toisen osapuolen maalista (joukko). Asejärjestelmä tarkastaa oman saldon. Asejärjestelmä kysyy omalta joukolta sijainnin. Asejärjestelmä ilmoittaa sijainnin kartalle ja pyytää karttaa ilmoittamaan etäisyyden maaliin. Asejärjestelmä vertaa etäisyyttä omaan kantamaan. Asejärjestelmä ilmoittaa kartalle laukauksen lentoreitin. Kartta ilmoittaa asejärjestelmälle, mikäli lentoreitin ja kartan korkeustiedot leikkaavat toisensa muodostaen maastoesteen. Mikäli kyseessä on tutkahakupäällä varustettu asejärjestelmä, se ilmoittaa kartalle muodostamansa hakualueen. Kartta tarkastaa, onko hakualueella maa-alueita. Maa-alueet estävät tutkahakuisten ohjusten käytön. Mikäli saldo, kantama, lentoreitti ja hakualue mahdollistavat laukaisun, asejärjestelmä ilmoittaa valmiuden tulenkäyttöön omalle osapuolelle. Osapuoli määrittää kaikista sille ilmoittautuneista asejärjestelmistä laukaisevat asejärjestelmät. Osapuoli ilmoittaa kaikille ilmoittautuneille laukaisijan ja laukaisumäärän. Muiden kuin laukaisijan osalta käyttötapaus laukaisu määritettyyn maaliin päättyy. Asejärjestelmä ilmoittaa maalille laukaisun ja käytetyn asejärjestelmän. Asejärjestelmän vaikutus maalissa perustuu matemaattiseen laskentakaavaan. Laskentakaavassa huomioidaan myös maalina olevalla joukolla olevien torjuntajärjestelmien suorituskyky. Laukaisu pienentää asejärjestelmän saldoa käytetyn laukausmäärän verran. Samoin mahdollisten torjuntajärjestelmien käyttö pienentää maalin omasuoja-arvoa. Käyttötapauskuvauksen ja sekvenssikaavio on esitetty kaaviossa 7.



Kaavio 7: Käyttötapausten laukaisu kuvaus ja sekvenssikaavio

Koska havainto välittyy aina kaikille asejärjestelmille ja useampi asejärjestelmä voi kyetä vaikuttamaan samaan maaliin, tapahtuu käytettävän asejärjestelmän valinta keskitetysti osapuolen toimesta. Tätä kutsutaan tulen jakamiseksi. Osapuolen saadessa asejärjestelmiltä valmiusilmoituksia, maalit priorisoidaan alustuksessa määritettyjen periaatteiden mukaisesti. Maaleihin vaikutetaan prioriteettijärjestyksessä sekä periaatteella ”läheltä kauas”. Tarkoituksena on käyttää eri kantaman omaavia asejärjestelmiä tehokkaasti sekä yksinkertaistaa priorisointia. Periaatekuva vaikuttavan tuliyksikön valinnasta on esitetty kaaviossa 8.



Kaavio 8: Tulenkäytön aktiviteettikaavio

Tulenkäytön aktiviteettikaavion mukaisesti kantaman ulkopuolelta saapuvaan osastoon vaikutetaan prioriteettijärjestyksessä. Koska meritorjuntaohjuksella on suurin kantama, se alkaa vaikuttaa ensimmäisenä. Osaston tullessa tykistötulen kantamaan jatkaa tykistö vaikuttamista korkeimman prioriteetin maaleihin, ja meritorjuntaohjukset jatkavat tulenkäyttöä tykistön kantaman ulkopuolella oleviin maaleihin prioriteettijärjestyksessä. Vastaava tulenjako tapahtuu rannikko-ohjusten ja tykistön välillä. Jakamalla tulenkäytön oikeudet kantamaan perustuen ei asejärjestelmille tarvitse erikseen luoda omia tulialueita. Menettely vähentää alustuksessa tehtäviä määrittelyitä sekä mukautuu joustavammin toisen osapuolen liikkeeseen.

5.5. Käsitteellinen malli: luokat

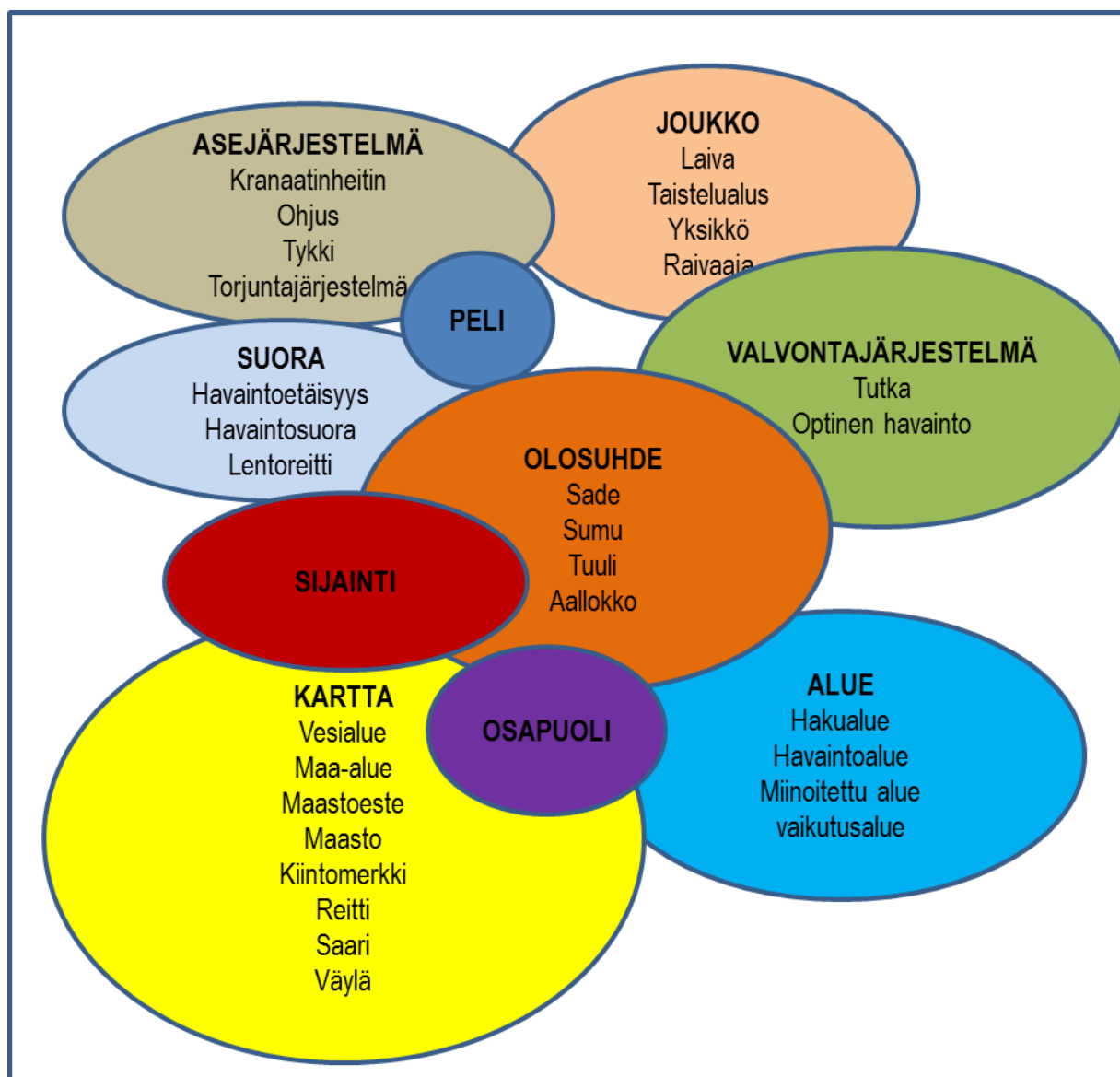
Vaatimusanalyysin perusteella laadittiin nimisanataulukko, taulukko 2, josta karsimalla ja jonka tekijöitä yhdistelemällä voidaan määrittää mallin potentiaaliset luokat sekä alustavia assosiaatioita, attribuutteja ja operaatioita. [25] Nimisanataulukko luotiin poimimalla vaatimusanalyysistä merkitsevät sanat. Tässä vaiheessa nimisanataulukko ei ole lopullinen vaan toimii aputyökaluna vaatimusanalyysin muuttamisessa malliksi.

Taulukko 2: Vaatimusanalyysin nimisanataulukko

Aika	Alku	Ampumatarvike	Arvo	Asejärjestelmä
Askel	Esitys	Estearvo	Etäisyys	Hakeutua
Hakualue	Havainto	Havaintoalue	Havaintoetäisyys	Havaintosuora
Informaatio	Joukko	Kantama	Kartta	Kiintomerkki
Kirjanpito	Korkeustieto	Kranaatinheitin	Kuluminen	Käsitellä
Laiva	Laskentakaava	Laukaista	Laukaisuehdot	Laukaisulupa
Laukaisuvalmius	Lentoreitti	Liike	Lähtöpaikka	Maa-alue
Maasto	Maastoeste	Malli	Merivoimat	Miinaräjähdys
Miinoitettu alue	Nopeus	Näkyvyys	Ohjelmisto	Ohjus
Olosuhde	Operaatioalue	Osapuoli	Parametri	Peli
Pelikierros	Raivaaja	Raivata	Reitti	Saari
Sade	Sijainti	Simulaatio	Stokastinen	Suorituskyky
Taistelualus	Tapahtuma	Tavoite	Tehtävä	Todennäköisyys
Torjuntajärjestelmä	Tuhoutuu	Tulos	Tutka	Tutkahakupää
Tykki	Vaikutusalue	Vaikutusarvo	Valvontajärjestelmä	Vaurioituu
Vesialue	Vuoro	Välittää	Väylä	Yksikkö

Nimisanataulukkoa tiivistettiin potentiaalisten luokkien löytämiseksi karsimalla siitä epäolennaisia nimisanoja, kuten informaatio tai Merivoimat, sekä erittelemällä tilaa tai attribuuttia ilmaisevat nimisanat, kuten tuhoutuu ja korkeustieto. Karsimisen jälkeen nimisanataulukkoon jäi jäljelle seuraavat sanat, jotka ovat mallin potentiaalisia luokkia: asejärjestelmä, hakualue, havaintoalue, havaintoetäisyys, havaintosuora, joukko, kartta, kiintomerkki, kranaatinheitin, laiva, lentoreitti, maa-alue, maasto, maastoeste, miinoitettu alue, ohjus, olosuhde, osapuoli, peli, raivaaja, reitti, saari, sijainti, taistelualus, torjuntajärjestelmä, tutka, tykki, vaikutusalue, valvontajärjestelmä, vesialue, väylä ja yksikkö. Luokat sisältävät kuitenkin päällekkäisyyksiä ja osa edellä mainituista toimii aliluokkana jollekin toiselle luokalle.

Ryhmittelemällä potentiaaliset luokat yhteen saman sisältöisten ja merkityksellisten luokkien kanssa saadaan alustava hahmotelma pääluokista (kuva 20).



Kuva 20: Potentiaaliset luokat ryhmiteltynä pääluokiksi

5.6. Käsitteellinen malli: Mallisanasto ja assosiaatiot

Pääluokkiin ryhmittelyn jälkeen luokista luodaan mallisanasto. Mallisanaston tarkoituksena on kuvata yksinkertaisessa muodossa pääluokkien tehtävä ja tarkoitus. [25]

Alue

Alue on kartalle sijoitettu toiminto, joka peittää joukon viereisiä sijainteja. Alueella on vuorovaikutussuhde kaikkien peitetyillä sijainneilla olevien joukkojen kanssa. Alueen ilmenemismuoto riippuu sen attribuuteista. Alue pitää kirjaa omasta vaikutusarvostaan ja muuttaa sitä laskennan perusteella.

Asejärjestelmä

Asejärjestelmillä vaikutetaan toisen osapuolen joukkoihin. Asejärjestelmä on joukon suorituskyky, jolla on kyky muuttaa toisten joukkojen tilaa. Asejärjestelmä pitää kirjaa ampuvatarvikkeista.

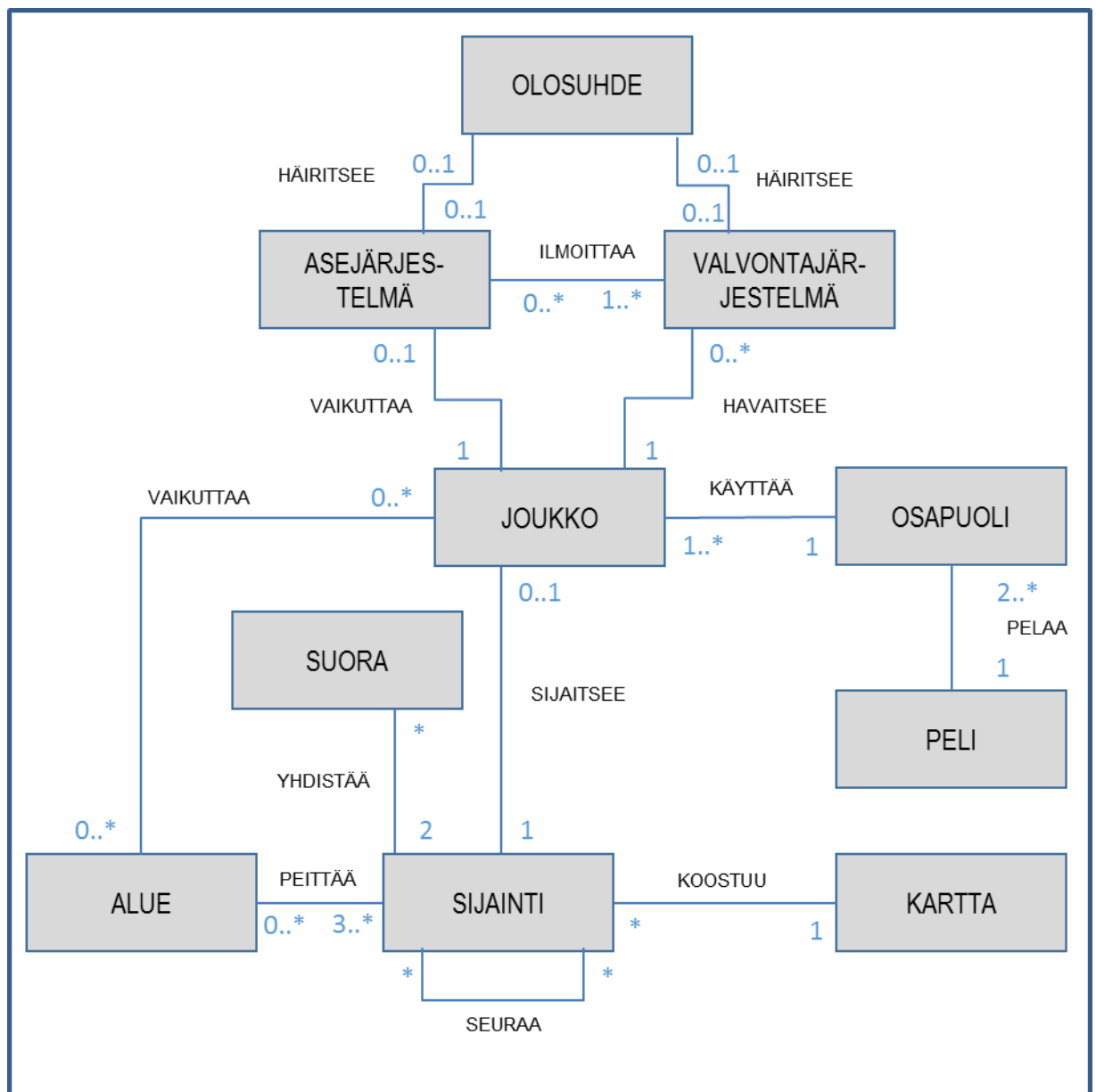
Joukko	Joukko on osapuolen pelinappula. Joukko edustaa taistelutilassa ope-roivia aluksia ja yksiköitä. Joukon ilmenemismuoto riippuu sen attri-buuteista. Joukko pitää kirjaa sijainnista, asejärjestelmistä ja valvonta-järjestelmistä.
Kartta	Kartta on Merellisen taistelutilan mallin symbolinen tapahtumapaikka. Kartta muodostuu sijainneista, jotka on järjestetty suorakulmaiseen koordinaatistoon symmetrisellä suhteella ”viereinen”. Sijainnista voi siirtyä viereiseen sijaintiin yhdellä askeleella. Vastaavasti sijainnista voi siirtyä toisilleen viereisten sijaintien muodostamaa polkua pitkin n-askeleen etäisyydellä lähtöpaikasta. Sijainti voi olla viereinen useille sijainneille. Kartalla maaston muodot, kiintomerkit ja vesialueet erotel-laan korkeustiedon avulla.
Olosuhde	Olosuhde kuvaa sään aiheuttamia poikkeamia taistelutilan tapahtumiin.
Osapuoli	Osapuoli pelaa peliä, käyttämällä joukkoja ja antamalla niille tehtäviä. Osapuoli pitää kirjaa joukoista ja tehtävästä.
Peli	Sääntöjen mukaan etenevä simulaatio taistelutilan tapahtumista, jossa osapuolien tarkoituksena on omien suorituskkyjen avulla voittaa toi-nen osapuoli. Peli pitää kirjaa osapuolista ja ohjaa pelikierrosten kul-kua.
Sijainti	Kartalla oleva kohta, jossa joukko, asejärjestelmä, valvontajärjestelmä tai alue voi sijaita pelin aikana.
Suora	Suora on kahden sijainnin välinen suhde, joka mahdollistaa etäisyyden määrittämisen, havainnon ja laukaisun sijainnista toiseen.
Valvontajärjestelmä	Joukot havaitaan valvontajärjestelmillä. Valvontajärjestelmä on joukon suorituskky, joka kykenee ilmaisemaan toisen osapuolen joukon si-jainnin, liiketekijät ja luokan. Valvontajärjestelmä ilmoittaa havainnot oman osapuolen asejärjestelmille. Valvontajärjestelmä pitää kirjaa ha-vaintoalueellaan olevista toisen osapuolen joukoista ja järjestelmistä.

Pääluokilla on keskinäisiä vuorovaikutussuhteita, assosiaatioita. Assosiaatio edustaa jotain luokkien välistä suhdetta jolla on tietty pysyvyys [25]. Assosiaatioiden selvittämiseksi mallinastosta etsitään pääluokkia yhdistävät kuvaukset sekä määritetään assosiaatiolle kuvaava nimi. Luokkien välisten assosiaatioiden lukumäärä voi vaihdella. Lukumäärä ilmoitetaan assosiaation kertautumisena. Taulukossa 3 on esitetty pääluokkien assosiaatioiden nimien muodostuminen ja kertautuminen. Esimerkiksi alueita voi mallissa olla 0 tai useampia. Tässä taulukossa merkintä * tarkoittaa positiivista kokonaislukua. Alueen muodostuminen edellyttää kolmen tai useamman sijainnin peittämistä. Vastaavasti alueella voi olla 0 tai useampia joukkoja, joihin alueella on vaikutus. Assosiaatioiden kertautuminen luetaan samassa järjestyksessä kuin ne on esitetty kuvauksessa.

Taulukko 3: Assosiaatioiden muodostuminen

KUVAUS	NIMI	KERTAUTUMINEN
Alue peittää joukon sijainteja	Peittää	0..* - 3..*
Alueella on vuorovaikutussuhde peitetyllä sijainnilla oleviin joukkoihin	Vaikuttaa	0..* - 0..*
Asejärjestelmillä vaikutetaan toisen osapuolen joukkoihin	Vaikuttaa	0..1 - 1
Joukko on osapuolen pelinappula	Käyttää	1..* - 1
Joukko on sijainnissa	Sijaitsee	0..1 - 1
Joukot havaitaan valvontajärjestelmillä	Havaitsee	1 - 0..*
Kartta koostuu sijainneista	Koostuu	1 - *
Olosuhteet heikentävät osumistodennäköisyyttä	Häiritsee	0..1 - 0..1
Olosuhteet heikentävät valvontakykyä	Häiritsee	0..1 - 0..1
Osapuoli pelaa peliä	Pelaa	2..* - 1
Sijainnin vieressä on toinen sijainti	Seuraa	* - *
Suora yhdistää kaksi sijaintia	Yhdistää	* - 2
Valvontajärjestelmä ilmoittaa maalit asejärjestelmille	Ilmoittaa	1..* - 0..*

Yhdistämällä pääluokat toisiinsa vuorovaikutussuhteita kuvaavilla viivoilla sekä liittämällä niihin assosiaation nimi ja kerroin saadaan aikaan alustava luokkakaavio, joka on esitetty kaaviossa 9. Kaavio toimii pohjana ohjelmistokehitysvaiheelle ja se päivittyy ohjelmiston kehityksen aikana.

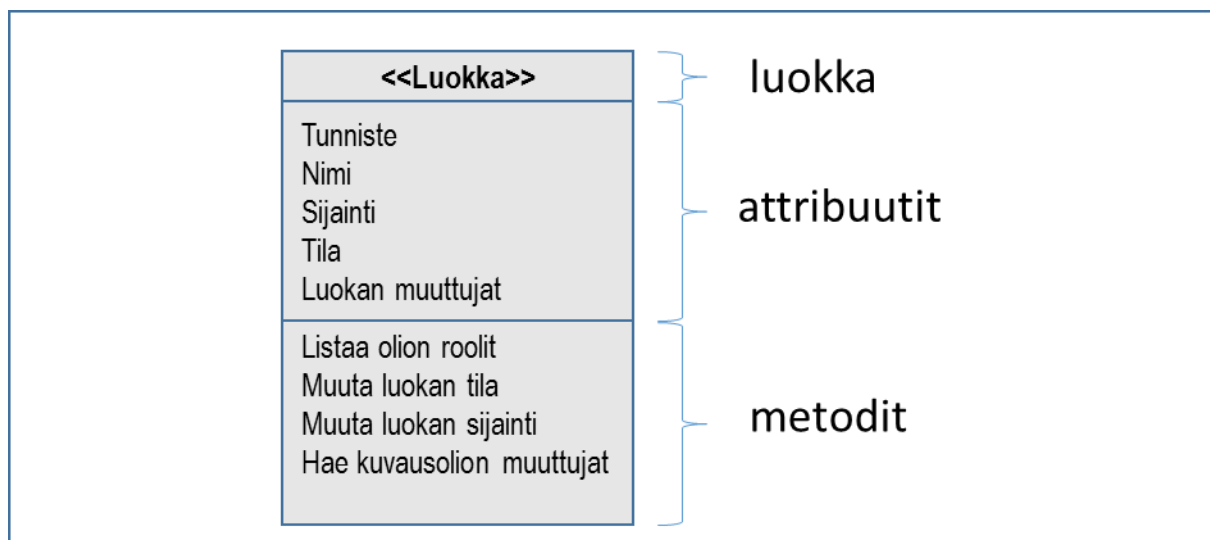


Kaavio 9: Analyysivaiheen alustava luokkakaavio

5.7. Mallin keskeisimmät oliot

Kukin luokka sisältää joukon olioita, joilla kaikilla on yhteisiä piirteitä. Oliot toimivat kyseisen luokan ilmentyminä, eräänlaisina toimeenpanijoina. Luokka määrittelee mitä attribuutteja ja metodeita siihen kuuluvilla olioilla on. Jokainen saman luokan olio sisältää samat attribuutit ja metodit, ainoat eroavaisuudet ovat attribuuttien arvoissa. Oliomalli rakentuu luokista, joihin samankaltaisia ominaisuuksia tai ilmentymiä sisältävät oliot ryhmitellään. [25; 48]

Oliossa sen kuvaamat ja käsittelemät tiedot tallennetaan sen omiin sisäisiin tietokenttiin. Tietokentät jakautuvat kolmeen eri tyyppiin sen mukaan, millaista informaatiota tietokenttä sisältää. Ensimmäinen kenttä määrittelee, mihin kategoriaan ja luokkaan olio kuuluu. Toinen kenttä on niin sanottu kuvaileva kenttä, joka sisältää olion kuvailutiedot eli attribuutit. Attribuuttien arvojen yhdistelmistä muodostuu olion tila. Kolmas kenttä sisältää tiedon siitä, miten olio voi käsitellä omia attribuuttejaan, eli miten se osaa ilmentää itseään. Kuvassa 21 on esitetty esimerkki olion rakenteesta. [5; 48; 51]



Kuva 21: Esimerkki olion rakenteesta [25]

Kuten analyysivaiheen alustavasta luokkakaaviosta 9 voidaan päätellä, eri pääluokkiin kuuluvat oliot käyttäytyvät eri tavoilla. Esimerkiksi pääluokan ”Joukko” oliot operoivat jatkuvasti mallissa käyttäen omia suorituskyykyjään, kun puolestaan pääluokan ”Suora” oliot yhdistävät kaksi sijaintia hetkeksi toisiinsa jotain operaatiota varten. Erityyppisten olioiden hahmottamisen helpottamiseksi mallikuvauksessa käytetään Peter Coadin kehittämää olioiden väreihin perustuvaa kategorisointia. Coadin mukaan mallin oliot jakautuvat neljään käyttäytymistä kuvaavaan kategoriaan [5], joita ovat:

- Pysyvät oliot (Party, Place, Thing), vihreä
- Roolioliot (Role), keltainen
- Kuvausoliot (Description), sininen
- Tapahtumaoliot (Moment-Interval), punainen

Värien tarkoituksena on helpottaa mallikuvauksen visuaalista hahmottamista. Korkealla abstraktiotasolla olion kuvauksesta voidaan jättää kertomatta sen käyttäytymistä kuvaavat metodit, koska ne on nähtävissä suoraan olion väristä. Osa Merellisen taistelutilan mallin olioista on verraten helppo sijoittaa eri kategorioihin. Osa olioista olisi puolestaan voitu perustellusti asettaa useampaan kategoriaan.

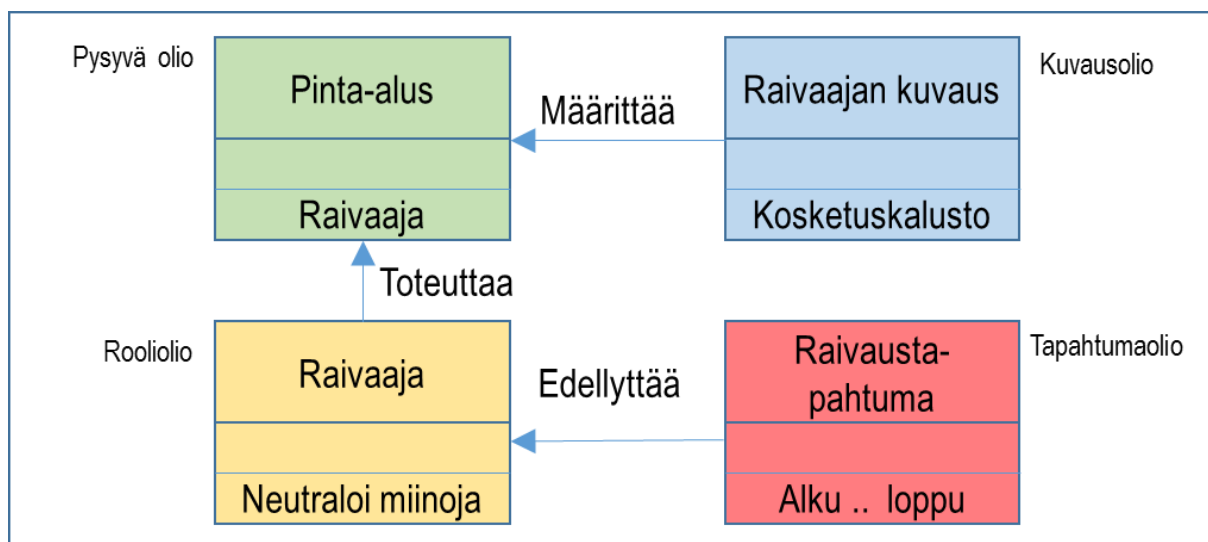
Pysyviä olioita Merellisen taistelutilan mallissa edustavat esimerkiksi pääluokkiin joukot, valvontajärjestelmät ja asejärjestelmät kuuluvat oliot, kuten ohjusvene, joukkue, asejärjestelmä ja niin edelleen. Kartta rinnastetaan tässä tapauksessa pysyväksi olioksi, vaikka karttaa ei voida pitää oliona sanan varsinaisessa merkityksissä. [5] Pysyvät oliot ovat mallin rakentamisen kannalta keskeisimpiä, ne toimivat mallissa pelinappuloina ja suorituskyykinä joita osapuoli käyttää pelin tavoitteiden saavuttamiseksi.

Roolioliot antavat pysyville olioille roolin ja määrittelevät niiden käyttäytymistä. Merellisen taistelutilan mallissa rooliolioita ovat esimerkiksi raivaaja, pintatorjuja, maalinosoittaja, maali ja niin edelleen. Roolioliot sisältävät oman nimikkeensä mukaisen toiminnon. Esimerkiksi raivaaja raivaa ja pintatorjuja ampuu ohjuksia. Rooliolion olemassaolo riippuu kulloisenakin ajanhetkenä käynnissä olevasta tapahtumasta. Olio, joka raivaustapahtumaan liittyen toimii raivaajana, voi laukaisutapahtumassa muuttua maalin rooliin. [5]

Tapahtumaoliot ovat olioiksi muutettuja tapahtumia eli ajanjaksoja, joilla on sekä alku että loppu. Esimerkiksi maalinosoitustapahtuma on tällainen. Tapahtumaoliot käynnistävät, ylläpitävät ja lopettavat rooliolioiden toiminnan. Tapahtumaolioita voidaan johtaa käyttötapauskäytännöstä, pääluokista ja luokkien välisistä assosiaatioista. Tapahtumaolioon liittyy palveluita, kuten esimerkiksi ”vähennä ampuvatarvikkeiden määrää” tai ”poista miinoitteesta miinoja”. [5]

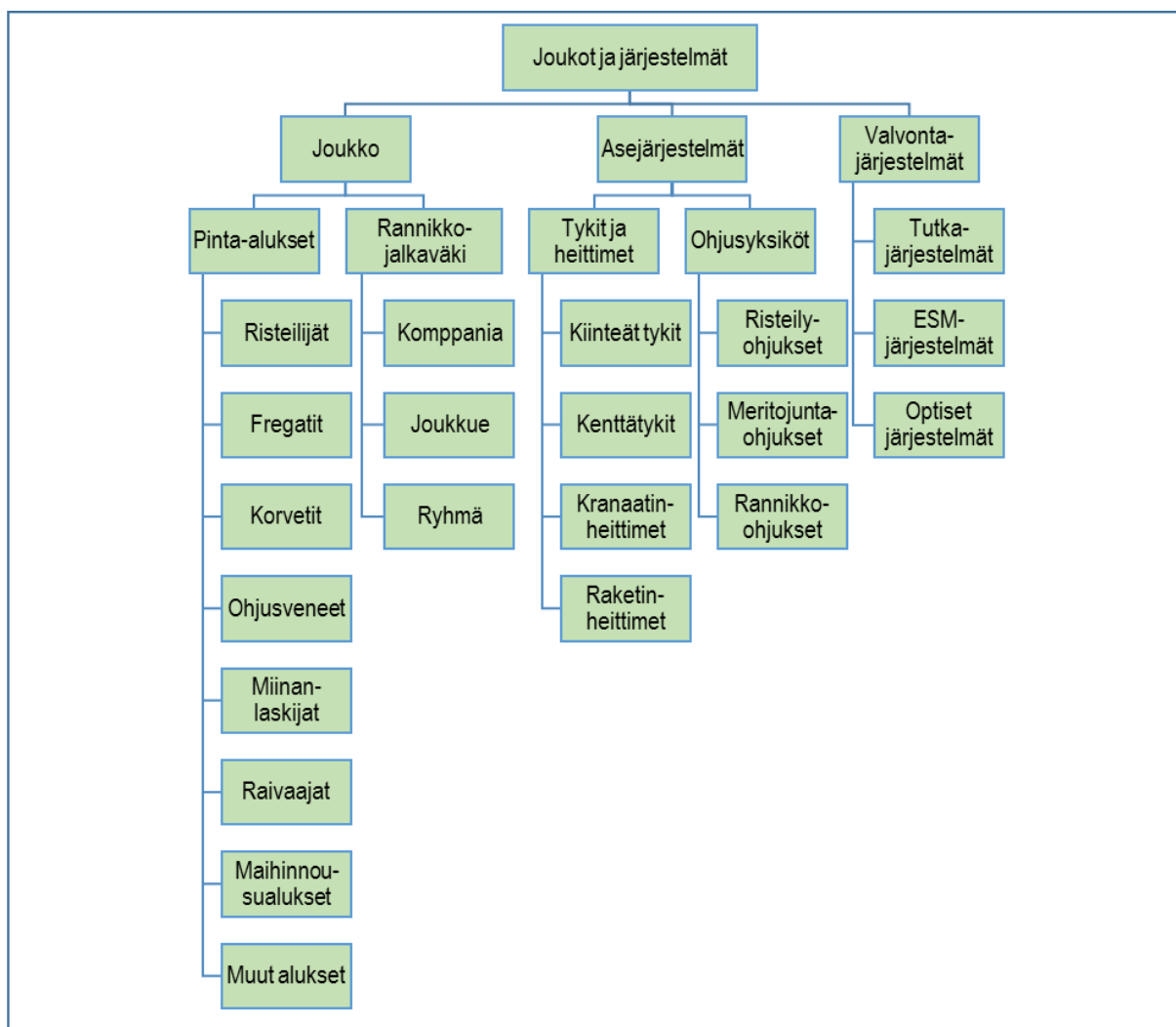
Kuvausoliot kuvaavat pysyviä olioita, rooliolioita tai tapahtumaolioita. Kuvausoliot toimivat esimerkiksi eräänlaisina käsikirjoituksina tapahtumille, kuten tulenkäytön aktiviteettikaavio (kaavio 8) tulenjakamisessa. Olosuhde voidaan myös luokitella kuvausolioksi, jolloin olosuhde kuvaa sään vaikutusta eri tilanteissa. [5]

Pelkät oliot eivät kuitenkaan vielä muodosta tapahtumia. Tapahtuma muodostuu vasta, kun olioiden välille syntyy vuorovaikutusta. Kuvan 21 esimerkistä ilmenee, kuinka pysyvän olion metodeissa määritetään sen suhde roolioloihin ja kuvausoloihin. Olio kykenee pitämään kirjaa niistä rooleista, joita sillä voi olla. Vastaavasti olio kykenee noutamaan kuvausoliolta itseään koskevia muuttujia. Kuvassa 22 on esitetty yksinkertainen esimerkki siitä, miten eri luokkiin kuuluvien olioiden vuorovaikutuksesta syntyy tapahtuma.



Kuva 22: Esimerkki olioiden muodostamasta tapahtumasta

Pysyvät oliot. Koska merellisessä taistelutilassa mallinnettavien joukkojen ja järjestelmien määrä on suuri, johtaisi kaikkien niiden mallintaminen yhdellä olioilla kohtuuttoman suureen abstrahointiin. Toisaalta ei ole tarkoituksenmukaista tehdä jokaista yksilöä varten omaa oliota. Ongelma ratkaistaan olio-ohjelmoinnissa käytettävällä periytymismenetelmällä, jossa alaluokka perii olemassa olevan ylemmän luokan ominaisuudet. Periytymisen avulla voidaan pienentää varsinaisen ohjelmoinnin työmäärää. Periytymisessä alaluokka sisältää ylemmän luokan komponentit ja vain alaluokan kannalta tarpeelliset elementit lisätään. Tarvittaessa alaluokasta voidaan myös kumota tarpeettomia yläluokan ominaisuuksia [5; 48; 51]. Merellisen taistelutilan mallissa pysyvien olioiden periytyvyys muodostuu kaavion 10 mukaisesta luokkarakenteesta. Pysyvien olioiden yhteisenä nimittäjänä on se, että ne muodostavat Merellisessä taistelutilassa operoivat joukot ja järjestelmät.

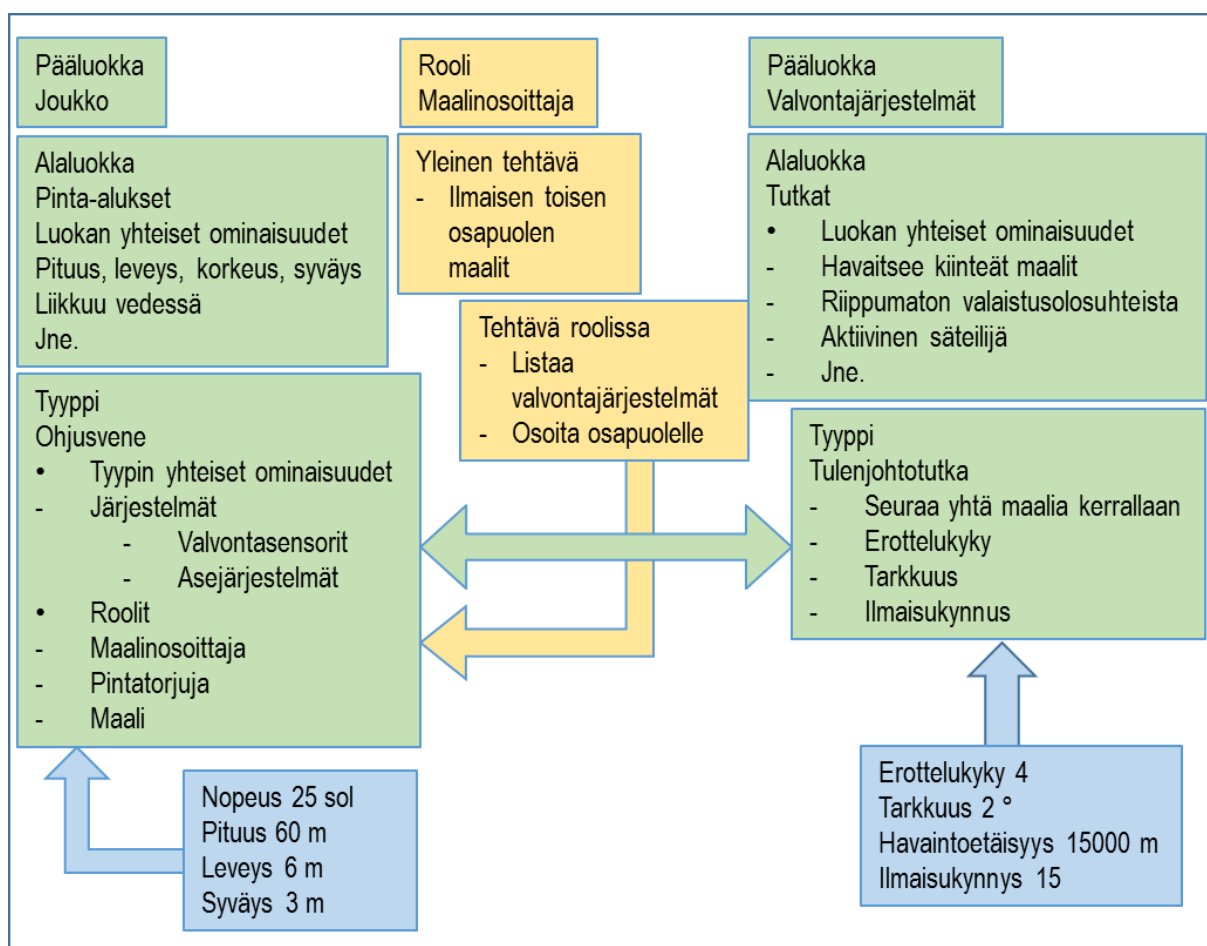


Kaavio 10: Luokkakaavio pysyvien olioiden periytymisestä

Pysyvät oliot jakautuvat alaluokkiin, joilla kullakin on luokalle yhteisiä ominaisuuksia. Esimerkiksi kaikilla aluksilla on fyysiset ulkomitat sekä kyky liikkua vesialueella. Alukset myös sijoittuvat pistemäisesti. Vastaavasti rannikkojalkaväki sijoittuu Merellisen taistelutilan malliin alueelle, jolla on tietty tiheys joukkoja. Koska kyseessä on siis kaksi selkeästi toisistaan poikkeavaa joukkoa, on tarkoituksenmukaista luoda molemmille oma alaluokka.

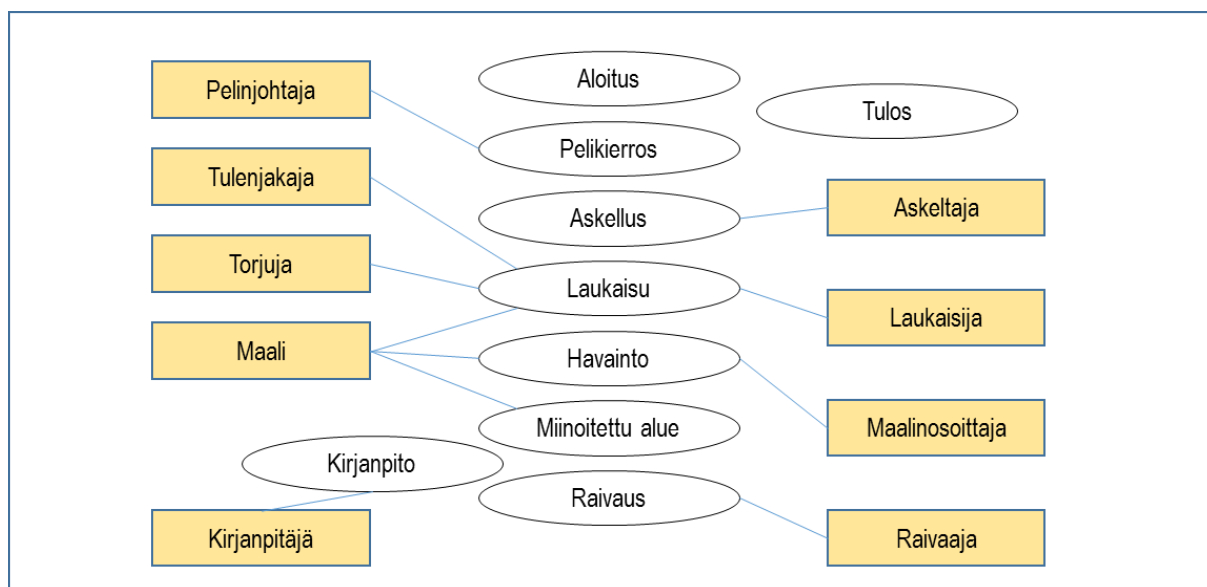
Alaluokan sisällä esiintyvät erilaiset joukot kuvataan mallissa jakamalla ne ominaisuuksiensa ja kyvykkyyksiensä mukaisesti tyyppeihin. Käytännössä tyyppi on alin abstraktiotaso, jolle Merellisen taistelutilan malli jaetaan. Tarvittaessa yksittäisiä yksilöitä voidaan mallintaa antamalla yksilölle toisista vastaavan tyyppisistä joukoista poikkeavia suorituskyykyarvoja ja ominaisuusparametreja.

Kuten kaaviossa 10 on esitetty, joukot ja niihin liittyvät asejärjestelmät ja valvontajärjestelmät on erotettu toisistaan omiksi alaluokiksansa. Tämä tarkoittaa sitä, että olio, joka kuvaa joukkoa, kuten esimerkiksi ohjusvenettä tai joukkuetta, ei sisällä sille kuuluvia asejärjestelmiä. Sen sijaan olio sisältää tiedon siitä, mitkä ovat ne asejärjestelmät-luokkaan kuuluvat oliot, joiden kanssa sen tulee muodostaa vuorovaikutussuhde. Kuvassa 23 on esitetty, kuinka joukko muodostaa valvontajärjestelmän kanssa roolin mukaisen toimivan kokonaisuuden, toimijan. Pääluokkien käsittely erillisinä mahdollistaa toimijoiden joustavan muokkaamisen. Esimerkiksi: mikäli mallissa olevan tutkan suorituskykyä tarvitsee muokata, voidaan muutos tehdä ainoastaan muokkaamalla tutkaa ilmentävää oliota. Jos taas kyseinen tutka olisi mallinnettu sisään joukkoa ilmentävään oloon, tulisi muutokset tehdä kaikkiin kyseistä tutkaa käyttäviin olioihin.



Kuva 23: Toimijan muodostuminen olioiden vuorovaikutuksesta

Roolioliot. Kuten aiemmin on esitetty, pysyvät oliot toimivat tilanteen mukaan erilaisissa rooleissa. Käytännössä rooliolioiden vaikutus kohdistuu pääluokan ”Joukot” olioisiin. Keskeisimmät mallin rooleista voidaan määritellä käyttötapausten perusteella (kuva 24).

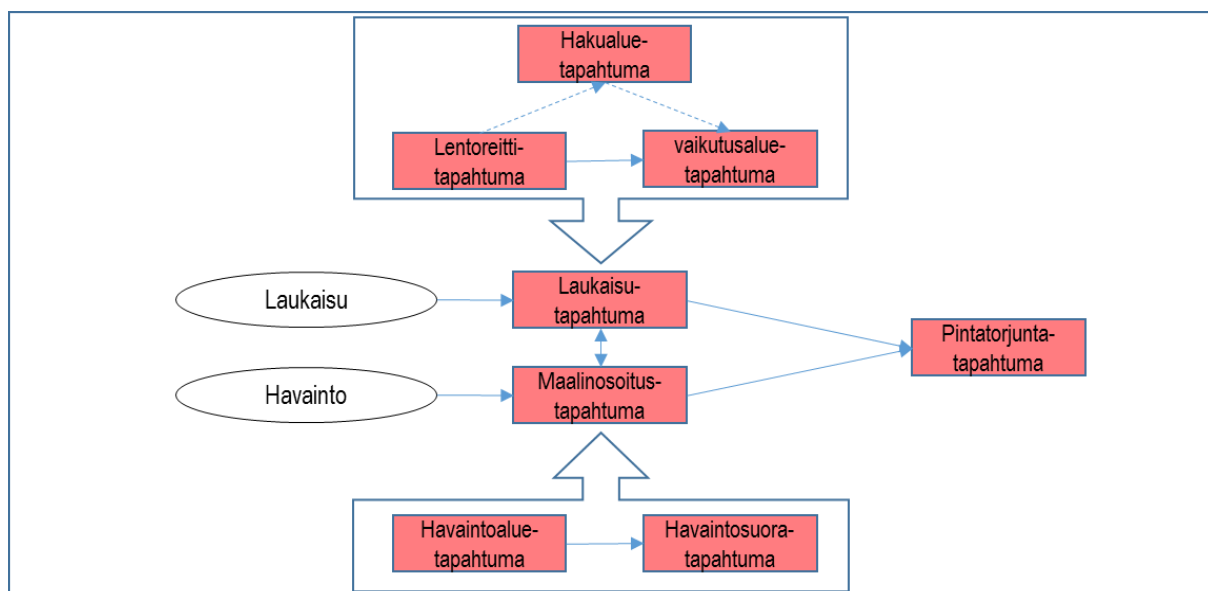


Kuva 24: Keskeisimpien rooliolioiden muodostuminen

Keskeisimmistä rooleista ”kirjanpitäjä” sekä ”tulenjakaja” ovat pääluokan ”osapuoli” rooleja ja ”pelinjohtaja”, joka vastaa pelin etenemisestä, kuuluu selkeästi pääluokalle ”peli”. Kaikki muut keskeisistä rooleista määrittelevät joukon toimintaa. On mahdollista että rooli ”maali” täytyy jakaa kolmeksi eri rooliksi, koska olion käyttäytyminen voi vaihdella sen mukaan, onko kysymyksessä maali johon ammutaan, maali joka havaitaan vai maali joka vaurioituu miinoitteessa. Toisaalta oliotasolla tarkasteltuna on kyseessä rooli, joka ohjaa joukon keskustelua tapahtumaolion ”alue” kanssa. Tässä vaiheessa mallintamista asiaa ei kuitenkaan vielä tarvitse ratkaista.

Malliin voidaan luoda tarvittaessa lisää rooleja esimerkiksi kartan eri sijaintien ja olosuhteiden tuomiseksi mukaan tapahtumiin. Tapahtumaolio ”lentoreitti” (kuva 25) voi tarvittaessa käynnistää kartalle roolin ”lentoreitin maastoesteet”, jolloin kartta listaa omat korkeustietonsa suoran kohdalla. Toisaalta pelin yksinkertaisuuden kannalta roolien määrä kannattaa pitää suhteellisen pienenä.

Tapahtumaoliot. Tapahtumaolioiden tarkka määrittely tapahtuu mallin rakentamisvaiheessa. Käyttötapausten määrittelyn perusteella voidaan kuitenkin todeta että mallissa on ainakin liikumiseen, vaikuttamiseen, maalinosoittamiseen ja raivaamiseen liittyviä tapahtumaolioita. Erityistapauksena tapahtumaoliosta voidaan pitää pääluokasta ”alue” johdettua tapahtumaoliota. Erilaisten alueiden määrittelemisen tapahtumaolioksi ei kuitenkaan ole yksiselitteistä. Hakualueen tai havaintoalueen muodostuminen on helppo mieltää tapahtumiksi, jotka alkavat ja loppuvat laukaisutapahtumaan liittyen. Miinoitettu alue voitaisiin kuitenkin yhtä hyvin määritellä pysyväksi olioksi, koska se alkaa simulaation alkaessa ja loppuu joko simulaation loppuessa tai estearvon muuttuessa nolllaksi. Tapauksissa, joissa olioiden luokittelu on vaikeaa, on yksinkertaisesti valittava riittävän sopiva vaihtoehto. Tässä tapauksessa miinoitettu alue on tarkoituksenmukaisinta pitää samassa pääluokassa muiden alueiden kanssa, jotka selkeästi ovat tapahtumaolioita. Kuvassa 25 on esitetty kuinka Merellisen taistelutilan mallissa käyttötapausten perusteella muodostuu joukko tapahtumaolioita.



Kuva 25: Tapahtumaolioiden muodostuminen

6. YHTEENVETO

6.1. Tutkimuksen sisältö

Tutkimuksen päämääränä oli laatia Mallikuvaus Merellisen taistelutilan mallista. Tutkimus oli luonteeltaan kvalitatiivinen ja perustui empiiriseen tutkimukseen. Tutkimuksen lähestymistapa oli deskriptiivinen, toteava ja kuvaileva, ja tarkoituksena oli luoda havainnollinen kuvaus siitä, miten mallinnuksella vastataan operatiivisten suunnittelijoiden tarpeisiin. Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuustutkimusta, käsiteanalyysia, kyselytutkimusta, perehtymistä sekä suunnittelua.

Tutkimusraportin toisessa luvussa taustoitettiin mallintamisen ja simuloinnin teoriaa. Tutkimuksessa tarkasteltiin erityyppisten ja -tasoisten mallien ja simulaatioiden ominaisuuksia ja ulottuvuuksia, jotta tutkimuksen myöhemmässä vaiheessa mallikuvaus pystyttäisiin asemoimaan tarkoituksenmukaisesti mallintamisen ja simuloinnin viitekehyksessä.

Kolmannessa luvussa pyrittiin määrittelemään merellinen taistelutila käsiteanalyysin sekä kirjallisuustutkimuksen avulla. Merellisestä taistelutilasta pyrittiin selvittämään sen ulkoiset ominaisuudet, ulottuvuudet sekä keskeiset tekijät.

Perusteita merellisen taistelutilan mallintamiselle käsiteltiin tutkimusraportin neljännessä luvussa. Kyselytutkimuksen avulla selvitettiin minkä tyyppisten kysymysten ratkaisemiseksi operatiivisen suunnittelun asiantuntijat tarvitsevat Merellisen taistelutilan mallia. Asiantuntijoilta saadut kysymykset ryhmiteltiin ja analysoitiin. Kysymyksistä pyrittiin löytämään yhteisiä nimittäjiä ja niistä muodostettiin geneerisiä mallinnuskysymyksiä. Merellisestä taistelutilasta etsittiin kokonaisuuksia, joita mallintamalla kysymyksiin voitaisiin vastata. Kun mallinnettavat kokonaisuudet oli määritetty, tutkimuksessa tarkasteltiin erilaisia menetelmiä niiden mallintamiseksi.

Luvussa viisi kuvattiin Merellisen taistelutilan malli. Mallikuvauksessa yhdistyy lukujen 2–4 tulokset sekä tutkijan oma suunnittelutyö. Mallikuvaus toteutettiin graafisella mallinnuskielillä sekä sitä täydentävillä olioperusteisen ohjelmistokehitysprosessin mukaisilla kuvauksilla. Mallikuvaus toimii Merellisen taistelutilan mallin ohjelmistokehityksen perustana.

6.2. Keskeiset tutkimustulokset

Tutkimuksen pääkysymystä, ”Millainen on operatiivisen suunnittelun tarpeisiin tehty Merellisen taistelutilan malli?”, lähestyttiin vastaamalla neljään alakysymykseen.

Ensimmäisellä alakysymyksellä pyrittiin selvittämään millainen on mallinnuksen kohde, merellinen taistelutila. Alakysymykseen vastattiin luvussa 3. Taistelutila on monitasoinen kokonaisuus, joka sisältää sekä fyysisiä että toiminnallisia ulottuvuuksia. Taistelutilan fyysisiä ulottuvuuksia ovat merellinen, ilma-, maa- ja avaruusulottuvuus. Toiminnallisia ulottuvuuksia ovat informaatio-, aika- ja elektromagneettinen ulottuvuus. Pelkkien ulottuvuuksien lisäksi taistelutilaa tulee tarkastella myös siinä esiintyvien ilmiöiden näkökulmasta. Taistelutilan keskeisenä nimittäjänä on taistelu, joka muodostuu vaikutuksesta ja vaikuttajista eli taistelutilassa operoivista joukoista ja niiden toimeenpanemista taisteluteknisistä suorituksista. Taistelutilasta tulee merellinen taistelutila, kun sen merellistä ympäristöulottuvuutta korostetaan, taisteluun vaikuttavia tekijöitä tarkastellaan merisodankäynnin näkökulmasta ja taistelutilassa oproidaan pääasiassa merivoimien suorituskyyvyillä.

Toisen alakysymyksen, ”Minkälaisiin kysymyksiin Merellisen taistelutilan mallissa ajettavilla simulaatioilla pitäisi saada ratkaisu?”, tarkoituksena oli selvittää mihin tarpeeseen Merellisen taistelutilan malli tulisi rakentaa. Alakysymykseen vastattiin alaluvussa 4.2. Mallin avulla pitäisi kyetä vastaamaan kolmenlaisiin kysymyksiin: raja-arvoa etsiviin kysymyksiin, vertaileviin kysymyksiin sekä optimia hakeviin kysymyksiin. Raja-arvoa etsivillä kysymyksillä haetaan käytännössä vastausta siihen, milloin joku taistelun osapuolista päättyy kulminaation. Vertailevilla kysymyksillä etsitään parasta vaihtoehtoa rajallisesta määrästä vaihtoehtoja, kuten esimerkiksi kannattaako raivaajiin vaikuttaa ohjus- vai kranaattitulella. Optimia hakevilla kysymyksillä haetaan parasta vaihtoehtoa rajattomasta määrästä vaihtoehtoja. Optimia hakevat kysymykset voivat liittyä esimerkiksi ryhmitukseen tai tulenkäytön kombinaatioihin.

Kolmanteen alakysymykseen ”Mitä asioita Merellisen taistelutilan mallin pitää mallintaa, jotta sen avulla voidaan ratkaista esitettyjä kysymyksiä?” vastattiin alaluvussa 4.3. Kaikkiin mallinnuskysymyksiin vastaaminen edellytti, että Merellisen taistelutilan mallin pitää mallintaa taistelun osapuolten toisiinsa kohdistaman kulutuksen määrää. Tämä tarkoittaa että mallissa on mallinnettu vähintään kuka kuluttaa, missä, ketä ja millä. Merellisessä taistelutilassa osapuolet kuluttavat operaatioalueella toisiaan tulenkäytöllä. Merisodankäynnin keskeiset tulenkäytön suorituskyyvyt ovat merimiinat, ohjusaseet sekä tykistöaseet. Tulenkäytön mallintaminen edellyttää asejärjestelmien käytön mallintamisen lisäksi maalinosoituksen sekä tulenkäytön johtamisen mallintamista.

Neljänteen alakysymykseen ” Miten mallin vaatimat asiat mallinnetaan?” vastataan alaluvussa 4.4. Valittujen kokonaisuuksien mallintaminen voidaan toteuttaa monilla eri tavoilla. Merellisen taistelutilan mallin kohdalla ohjaavina tekijöinä toimivat mallin taktis-operatiivinen hierarkiataaso sekä simulaation konstruktiiivinen luokka. Miinasodankäynti tulee mallintaa yleisellä tasolla, jolloin miinoitteet mallinnetaan kokonaisuuksina. Miinanlaskun, miinoitteiden tai niiden raivaamisen yksityiskohtainen mallintaminen ei taktis-operatiivisella tasolla ole tarkoituksenmukaista. Tykistötulen vaikutus merimaaleja vastaan tulee mallintaa yksinkertaistettuna, laskemalla maalinosoitukseen, laukaisuun ja olosuhteisiin vaikuttavien tekijöiden muodostama todennäköisyys osumiselle, sekä merimaalikranaatin vaikuttavuuteen ja maalin haavoittuvuuteen perustuva arvo vaikutukselle. Tykistötulen mallintaminen maamaaleja vastaan voidaan toteuttaa hyödyntämällä käytössä olevia epäsuorantulen malleja. Ohjustulenkäytön mallintamiseen soveltuu parhaiten yksinkertainen malli, jossa ohjustulenkäytön vaikutukset mallinnetaan ohjusjärjestelmittäin ja keskeiset mallinnettavat ominaisuudet ovat kantama, osu- mistodennäköisyys sekä vaikutus kohteessa. Merellisen taistelutilan mallin tarkoituksena on mallintaa Suomen merivoimien operaatioaluetta jolloin toimintaympäristö on tarkoituksenmukaista rakentaa Itämeren kuvaavalle karttapohjalle. Koska mallinnettava toimintaympäristö on laaja ja toimintaympäristöltä vaaditaan kohtuullista paikannustarkkuutta vektorimuotoinen kartta vaikuttaa soveltuvan käyttötarkoitukseen rasterimallinnukseen perustuvaa karttaa paremmin.

Tutkimuksen pääkysymykseen vastattiin laatimalla mallikuvaus Merellisen taistelutilan mallista. Mallikuvaus on esitetty luvussa 5. Merellisen taistelutilan malli muodostuu toimijoista, toimintaympäristöstä ja vaikutuksesta sekä niiden välisistä vuorovaikutussuhteista. Merellisen taistelutilan mallin runko rakentuu yhdeksästä käyttötapaudesta, joita ovat: aloitus, pelikierros, askellus, laukaisu, havainto, miinoitettu alue, raivaus, kirjanpito ja tulos. Taistelun kulkua simuloidaan suorittamalla käyttötapausta simulaatio-ohjelmistolla. Käyttötapaudet muodostuvat pääluokkiin kuuluvien olioiden välisistä vuorovaikutussuhteista. Merellisen taistelutilan alustavat pääluokat ovat: alue, asejärjestelmä, joukko, kartta, olosuhde, osapuoli, peli, sijainti suora ja valvontajärjestelmä. Pääluokat jakautuvat alaluokkiin ja tyyppeihin, sen mukaan kuinka paljon toisistaan poikkeavia olioita ne sisältävät. Mallikuvaus toimii ohjelmistokehitysvaiheen perustana.

6.3. Tutkimuksen laadun arviointi

Tutkimuksessa laadittu mallikuvaus edustaa ainoastaan yhtä mahdollista keinoa mallintaa merellistä taistelutilaa. Koska vastaavanlaista tutkimusta mallikuvauksineen ei ollut löydettävissä, valitulle menetelmälle ei myöskään löytynyt vertailukelpoista vaihtoehtoa. Laadittu mallikuvaus pyrittiin pitämään riittävän korkealla abstraktiotasolla, jotta se ei rajoittaisi ohjelmistokehittäjän työtä. Mallikuvausta tarkasteltaessa on kuitenkin pantava merkille, että abstraktiotason sopivuuden määrittely perustuu lähes yksinomaan tutkijan subjektiiviseen näkemykseen.

Mallinnustarpeen operatiivisten lähtökohtien määrittämiseksi laadittu kysely ei täysin toiminut tutkijan toivomalla tavalla. Vastaajat antoivat ristiriitaista palautetta kyselyn selkeydestä. Joidenkin vastaajien palautteen mukaan kyselyyn oli erittäin vaikeaselkoinen ja kyselyyn vastaaminen vaikeaa. Toisaalta osassa palautteista kyselyä luonnehdittiin selkeäksi ja helposti ymmärrettäväksi. Koska absoluuttinen vastaajamäärä jäi kahdeksaan, ei kyselyssä olisi saanut olla minkäänlaisia epäselvyyksiä. Ennen kyselyn lähettämistä se oli kuitenkin testattu yleisesikuntaupseerikurssi 57:n oppilaista valitulla testiryhmällä, eikä testiryhmän antamasta palautteesta ilmennyt varsinaisessa tutkimuskyselyssä ilmenneitä ongelmia. Puutteistaan huolimatta kyselyllä saatiin kerättyä riittävästi aineistoa mallinnuskysymysten laatimiseksi.

Tutkimusta arvioitaessa on huomioitava, että Merellisen taistelutilan mallin ohjelmistokehitystyötä ei ole aloitettu. Tämä tarkoittaa sitä, ettei mallikuvauksen laatijan ja ohjelmistokehittäjän välillä ole myöskään voinut olla todellisen mallinnusprojektin mukaista vuoropuhelua. Tutkimuksessa esitetty mallikuvaus ei näin ollen myöskään ole lopullinen. Mallikuvauksen päätyminen toimivaksi simulaatioksi edellyttää useita iteraatiokierroksia, joissa mallikuvausta tarkennetaan yhdessä ohjelmistokehittäjän kanssa. Tässä tutkimuksessa esitetyn mallikuvauksen avulla ohjelmistokehitystyö voidaan kuitenkin käynnistää.

Mallikuvauksen laadinnassa käytettiin graafista UML-mallinnuskieltä ja sitä täydentäviä kuvauksia. Koska tutkijalla ei ole aikaisempaa kokemusta mallikuvauksen laadinnasta, mallinnuskielen valintaperusteena käytettiin kielen selkeyttä. Vaikka UML-mallinnuskielin käyttö onkin suhteellisen vapaata, on mallikuvausta lukiessa kuitenkin varauduttava niin sanottuihin aloittelijan kielioppivirheisiin.

Tutkimuksen lähteinä käytettyä aineistoa voidaan yleisesti ottaen pitää luotettavana. Suurin osa lähdeaineistosta perustuu alan kirjallisuuteen, tutkimus- ja konferenssijulkaisuihin sekä eri maiden puolustusvoimien laatimiin asiakirjoihin. Edellisten osalta voidaan siis olettaa että ne kaikki ovat läpäisseet tämän tutkimuksen validiteetin kannalta riittävän tarkistusmenettelyn. Tutkimuksessa tukeuduttiin myös internet lähteisiin. Internetlähteitä valittaessa niiden luotettavuutta arvioitiin vertaamalla informaatiota vastaaviin samankaltaisiin sivustoihin sekä punnitsemalla mahdollisen virheellisyyden merkitystä tiedon käyttötarkoituksessa. Esimerkiksi UML-mallinnuskieltä käsittelevällä Object Management Groupin virallisella kotisivulla oli saatavissa viimeisimmät UML-mallinnuskielen päivitykset, vaikka niitä ei vielä ole saatavissa painettuna mediana. Toisaalta mikäli mallinnuskieli olisi syystä tai toisesta esitetty sivustolla virheellisesti, ei sillä olisi lopputuloksen kannalta ollut suurtakaan merkitystä. Lähdeaineiston validiteetista huolimatta on todettava että jokainen lähde käsitteli aihetta verraten kapeasta näkökulmasta eikä yksikään niistä käynyt suoraan yhteen tämän tutkimuksen näkökulman kanssa. Tästä syystä osaa lähteistä pystyttiin hyödyntämään vain erittäin suppealla alueella.

LÄHTEET

- [1] Antikainen, A. *KESI-harjoituksen onnistumiseen vaikuttavat tekijät*. Tutkielma. Helsinki, 2009. Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos, Esiupseerikurssi 61. 31 s.
- [2] Anttila, P. *Tutkiva toiminta ja ilmaisu, teos, tekeminen*. 2. painos. Hamina: Akatiimi, 2006. 674 s. ISBN 952-5378-11-X.
- [3] Battlespace Management, Joint Doctrine Publication 3-70, Ministry of Defence, June 2008.
- [4] Bennett, S., McRobb, S. & Farmer, R. *Object-oriented system analysis and design: Using UML*. 4th ed. London: McGraw-Hill, 2010. 688 s. ISBN 978-0-07-712536-3
- [5] Coad, P. *Modeling in Color*. [viitattu 19.6.2015]. Saatavissa: <http://www.step-10.com/SoftwareDesign/ModellingInColour/>
- [6] Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms, Joint Publication 1-02. Virginia, USA: Chairman of the Joint Chiefs of Staff Publication, 23 March 1994 as Amended Through 10 January 2000.
- [7] Electronic Warfare, Joint Publication 3-13.1. Virginia, USA: Chairman of the Joint Chiefs of Staff Publication, 25 January 2007. [viitattu 19.6.2015]. Saatavissa: <http://fas.org/irp/doddir/dod/jp3-13-1.pdf>
- [8] Ernst, J. *What is metamodeling?* [Viitattu 28.2.2015]. Saatavissa: <http://infogrid.org/trac/wiki/Reference/WhatIsMetaModeling>
- [9] Floridi, L. & Sanders, J. *Levellism and the Method of Abstraction*. Research Report. Bari, Italy, 2004. Oxford University – University of Bari, Information Ethics Group. 38 s. Saatavissa: http://www.cs.ox.ac.uk/activities/ieg/research_reports/ieg_rr221104.pdf.
- [10] Fowler, M. & Kendal, S. *UML*. Jyväskylä: Dark Oy, 2002. 166 s. ISBN 951-846-168-6
- [11] Haarala, R., Lehtinen, M., Grönros, E-R., Kolehmainen, T., Nissinen, I., Eronen, R. & Suorsa, M. (toim.): *Suomen kielen perussanakirja, toinen osa L-R*. Helsinki: Kotimaisten kielten tutkimuskeskus, 1992. 699 s. ISBN 951-37-0503-X.
- [12] Haarala, R., Lehtinen, M., Grönros, E-R., Kolehmainen, T., Nissinen, I., Eronen, R. & Suorsa, M. (toim.): *Suomen kielen perussanakirja, kolmas osa S-Ö*. Helsinki: Kotimaisten kielten tutkimuskeskus, 1994. 663 s. ISBN 951-37-1088-2.

- [13] Huttunen, M. (toim.), Kostiainen, K., Lalu, P., Nisula, K. & Tähtinen, J. *Taistelun kuva muutoksessa – taistelukentästä taistelutilaan*. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos, julkaisusarja 4, n:o. 2/2009. 346 s. STIV
- [14] Huttunen, M. *Monimutkainen taktiikka*. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos, julkaisusarja 1, n:o 2/2010. 321 s. ISBN 978-951-25-2102-9.
- [15] Hytönen, T. *Matemaattisista taistelumalleista*. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, julkaisusarja 2, n:o 9/2005. 32 s. ISBN 951-25-1587-3.
- [16] Hyytiäinen, M. *Maasodankäynnin taistelumallit ja taktiset simulaattorit – paikkatiedon käyttötap*a. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, julkaisusarja 1, n:o 16/2002. 94 s. ISBN 951-25-1474-5.
- [17] Hämäläinen, J. & Lähdemäki-Taipalus, R (toim.). *Mallinnus ja simulointi tutkimusseminari*. Ylöjärvi: Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos. 2002. 77 s. ISBN 951-25-1296-3.
- [18] Ilmatieteenlaitos. *Säämallit ennusteen apuna*. [viitattu: 19.6.2015]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/saamallit-ennusteen-apuna>.
- [19] Ilmatorjunnan suorituskyvyn kehittäminen – torjunta-analyysi, MAAVEHENKOS PVOHJE013 HI268. Mikkeli: Maavoimien esikunnan henkilöstöosasto, 9.5.2012.
- [20] Information operations, Joint Publication 3-13. Virginia, USA: Chairman of the Joint Chiefs of Staff Publication, 20 November 2014. [viitattu 19.6.2015]. Saatavissa: http://www.dtic.mil/doctrine/new_pubs/jp3_13.pdf
- [21] Johnson, M., McKeon, M. & Szanto, T.: *Simulation Based Acquisition: a new Approach*. Research Report. Virginia, USA, 1998. Defense Systems Management College, Research, Consulting and Information Division. 146 s.
- [22] Karhatsu, H. *Malliperustainen ohjelmistokehitys ja malliperustainen arkkitehtuuri*. Seminaarityö. Helsinki, 2009. Helsingin yliopisto, Tietojenkäsittelytieteen laitos. 16 s.
- [23] Kenttäohjesääntö yleinen, HK514. Helsinki: Pääesikunta, 16.6.2014.
- [24] Koistinen, A. *Mallinnusta ja tulvien ennustamista*. Solmu – Matematiikkalehti [Verkolehti]. 2006, no. 3, s. 15–18. ISSN 1458-8048. [viitattu: 19.6.2015]. Saatavissa: <http://solmu.math.helsinki.fi/>.
- [25] Koskimies, K. *Oliokirja*. Helsinki: Satku, 2000. 422 s. ISBN 951-762-720-3
- [26] Laivastotaktiikka (LT). Turku: Merivoimien Esikunnan henkilöstöosasto, 16.3.2012.

- [27] Lappalainen, E. & Jormakka, J. (toim.): *Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa*. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, julkaisusarja 5, n:o 1/2004. 203 s. ISBN 951-25-1540-7.
- [28] Lappi, E. *Computational methods for tactical simulations*. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos, julkaisusarja 1, n:o. 1/2012. 189 s. ISBN 978-951-25-2318-4.
- [29] Lehtinen, M. *Operaatioanalyysiä sotilaille*. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, 2003. 69 s. ISBN 951-25-1461-3.
- [30] Lehtinen, M. *Pieni simulointikirja*. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, julkaisusarja 5, n:o 3/2004. 28 s. ISBN 951-25-1555-5.
- [31] Lempiäinen, J. *Taistelun ja logistiikan simulointi*. Helsinki: Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos. 2005. 40 s. ISBN 951-25-1606-3.
- [32] Maria, A. *Introduction to Modeling and Simulation*. White paper. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference. 1997. State University of New York, Department of Systems Science and Industrial Engineering. 7 s. Saatavissa:
<http://www.acqnotes.com/Attachments/White%20Paper%20Introduction%20to%20Modeling%20and%20Simulation%20by%20Anu%20Maria.pdf>
- [33] Matusiak, J. *40 vuotta mallikoetoimintaa Otaniemessä*. Esitelmä 2010. [viitattu: 19.6.2015]. Saatavissa:
<https://wiki.aalto.fi/download/attachments/58918298/Matusiak.pdf>.
- [34] Merivoimien toimintaympäristön mallintaminen. Tutkimustyötilaus, 14.249.1. Merivoimien esikunta, M5, Suunnittelupäällikkö. 30.10.2014
- [35] Modeling and Simulation (M&S) Glossary, DoD 5000.59-M. Virginia, USA: Department of Defense, January 1998.
- [36] Modeling and Simulation (M&S) Management, DoD 5000.59. Virginia, USA: Department of Defense, August 2007.
- [37] Modeling and Simulation Master Plan, DoD 5000.59-P. Virginia, USA: Department of Defense, October 1995.
- [38] Nash, T. *The growing focus on simulation-based training*. London: Jane's Defence Weekly. Posted 19.11.2012. [viitattu: 15.9.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1530759&Pubabbrev=JDW>.

- [39] Niiniluoto, I. *Tiede, filosofia ja maailmankatsomus*. Keuruu: Otava, 1984. 358 s.
ISBN: 951-1-08016-4
- [40] Nokelainen, M-N. *Torjunta-analyysiprosessin käytettävyys ilmatorjuntayksikön tulenkäytön suorituskyvyn mittaamiseen ja kehittämiseen*. Diplomityö. Helsinki, 2009.
Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos, Yleisesikuntaupseerikurssi 54. 129 s.
- [41] Operatiivisen suunnittelun perusteet (FINGOP). PESUUNNOS HF606. Helsinki: Pääesikunnan suunnitteluosasto, 2.6.2009.
- [42] Paikkaoppi: *Rasteri- ja vektorimuotoinen paikkatietoaineisto*. [viitattu: 2.7.2015]. Saatavissa:
http://www.paikkaoppi.fi/Oppitunnit_ja_projektimallit/Oppituntikokonaisuudet/2.2
- [43] Pankkonen, A. *Ilmaa hengittävien pitkän kantaman ilmataisteluohjusten ominaisuudet ja mallinnus*. Diplomityö. Espoo, 2006. Teknillinen korkeakoulu, konetekniikan osasto. 117 s.
- [44] Piplani, L., Mercer, J. & Roop, R.: *Systems Acquisition Manager's Guide for the use of Models and Simulations*. Technical Report. Virginia, USA, 1994. Defense Systems Management College. 208 s.
- [45] Rauhala, H., Anteroineen, J., Hakanpää, I. & Rautava, J. *Meripuolustuksen asejärjestelmät*. Kirjassa: Kari, M., Hakala, A., Pääkkönen, E. & Pitkänen, M. (toim.). Sotatekninen arvio ja ennuste 2025 Osa 2. Ylöjärvi: Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos, 2008. s. 196–207. ISBN: 978–951–25–1891–3.
- [46] Rauhala, R. *Merimaalikranaatti*. Rannikon puolustaja, 2000. No. 2, s. 8–9.
ISSN 1239-0445.
- [47] Roponen, J. *Simulating artillery fire in forest environment*. Diplomityö. Helsinki, 2015. Aalto-yliopisto, Teknillisen fysiikan laitos. 58 s.
- [48] Tamminen, J. *From abstract domain model to OO-implementation*. [viitattu 2.4.2015]. Saatavissa: <http://personal.inet.fi/cool/jukkatamminen/>
- [49] Teittinen, K. *Merellisen taistelutilan mallin käyttäjävaatimukset*. Tutkielma. Helsinki, 2013. Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, Esiupseerikurssi 65. 40 s.
- [50] Tykistön ampumaopin käsikirja, HK907. Mikkeli: Maavoimien Esikunnan henkilöstöosasto, 4.12.2017.
- [51] Unified Modeling Language™ (UML®) Resource Page: *Introduction to OMG's Unified Modeling Language*. [viitattu: 2.4.2015]. Saatavissa:
http://www.omg.org/gettingstarted/what_is_uml.htm#12DiagramTypes.

- [52] Wagner, D., Mylander, W. & Sanders, T. *Naval Operations Analysis. Third Edition.* Annapolis, Maryland: U.S. Naval Institute. 1999. 421 s. ISBN 1-59114-950-9.
- [53] Walls, W., Weldon, W., Pratap, S., Palmer, M. & Adams, D. *Application of Electromagnetic Guns to Future Naval Platforms.* IEEE Transactions on Magnetics, 1999. Vol. 35, No. 1, s. 262–267. ISSN: 0018-9464. [Viitattu 19.6.2015]. Saatavissa: <http://www.eng.auburn.edu/departments/ece/railgun/references/navyrailgun.pdf>
- [54] Vego, M. *Soviet Naval Tactics.* Naval Institute Press, 1992. 455 s. ISBN 0870216759
- [55] Wikipedia. *Meri.* [viitattu: 28.2.2015]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Meri>
- [56] Wikipedia. *Tila.* [viitattu: 28.2.2015]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Tila>
- [57] Vuorio, J. *Simulaattorit osana oppimisympäristöä.* Rannikon Puolustaja, 2012. No. 2, s. 22–27. ISSN 1239-0445.

LIITTEET

LIITE 1	KYSELY	L1 1/4
---------	--------	--------

LIITE 2	KYSELYN VASTAUKSET	L2 1/2
---------	--------------------	--------

Merellisen taistelutilan malli

Hyvät herrat.

Lähestyn teitä Yleisesikuntaupseerikurssi 57 diplomityöhöni liittyen.

Diplomityön tavoitteena on saada aikaan konkreettinen mallikuvaus, jonka perusteella rakennetaan erityisesti Merivoimien lähtökohdista ja tarpeisiin soveltuva taistelutilan malli.

Diplomityössä tarkastellaan mallinnusohjelmaa, jota voidaan käyttää **operatiivisen suunnittelun** apuvälineenä ja **operaatioanalyysin** työkaluna. Diplomityö on jatkoa esipäseerikurssin tutkimukselle, jossa selvitettiin Merellisen taistelutilan mallin käyttäjävaatimuksia.

Merellisen taistelutilan malli tuottaa kvantitatiivisia tuloksia päätöksenteon tueksi simuloimalla taistelun kulkua erilaisissa skenaariossa vaihtelevilla suorituskyvyillä.

Jotta malli soveltuisi parhaalla mahdollisella tavalla suunniteltuun käyttötarkoitukseen, toteutetaan mallin varsinainen rakentaminen ongelmälähtöisesti. Tässä kyselyssä toivonkin saavani teiltä vastausten sijaan kysymyksiä.

MITÄ KYSYMYKSIÄ HALUAT RATKAISTA MERELLISEN TAISTELUTILAN MALLIN AVULLA?

Kysymysten laadinnan helpottamiseksi on laadittu yksinkertainen skenaario maihinnousun torjuntaoperaatiosta, jonka tarkoituksena on sitoa kaikkien kyselyyn osallistuvien asiantuntijoiden esittämät kysymykset samaan viitekehykseen.

Laatimiasi kysymyksiä käytetään mallin suunnittelu-, rakentamis- ja testausvaiheessa varmistamaan, että malli soveltuu aiottuun tarkoitukseen.

Tässä vaiheessa esitetyt kysymykset eivät rajoita lopullisen mallin avulla ratkaistavia kysymyksiä.

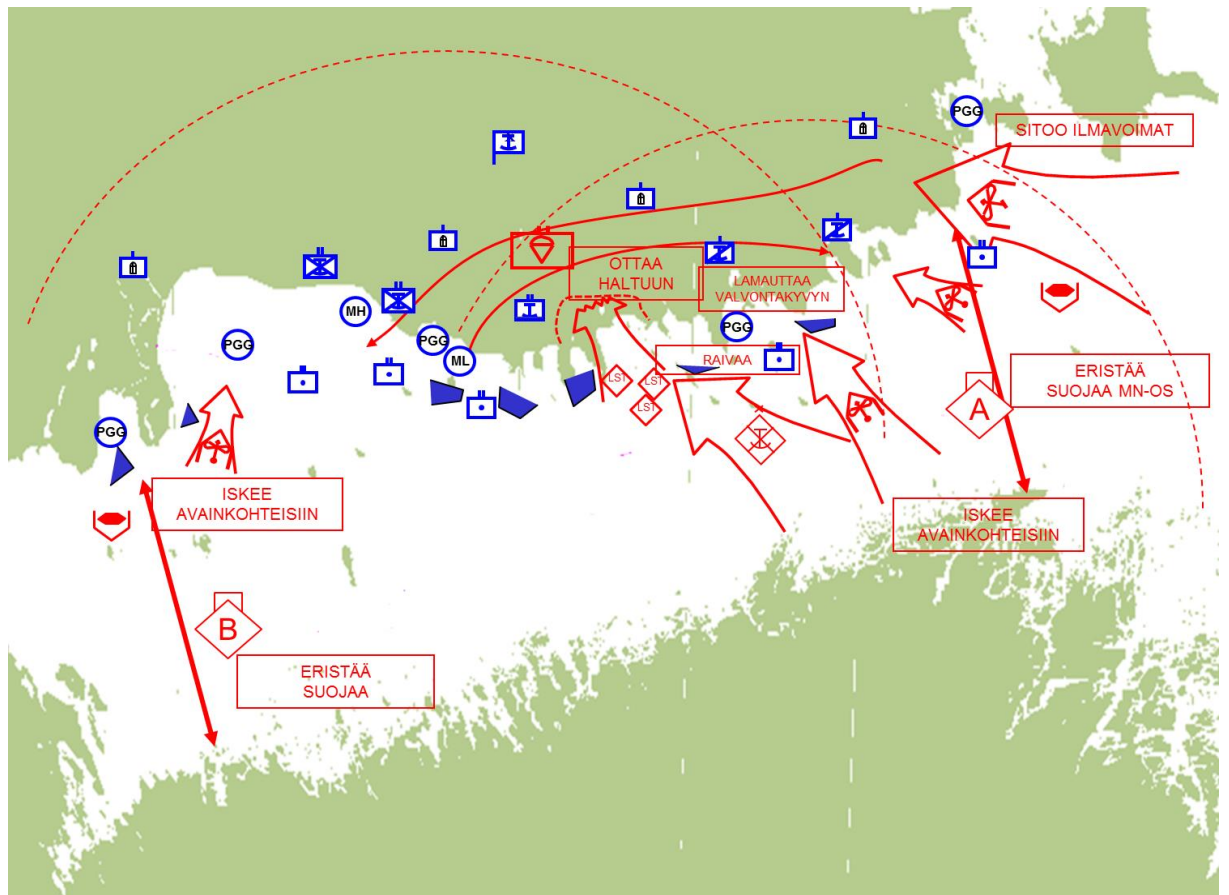
Kirjoita kysymyksesi viimeisellä sivulla olevaan **vastauslomakkeeseen**, jonka pyydän palauttamaan sähköpostilla maanantaihin **20.4.2015** klo 1600 mennessä osoitteeseen konsta.teittinen@mil.fi

TILANTEEN KUVAUS
<p>Toimit Sinisen osapuolen puolustushaaratason operatiivisessa suunnitteluryhmässä ja laaditte operatiivisia suunnitelmia skenaarion mukaisen Punaisen maihinnousun varalle.</p> <p>Käytettävissäsi on merellisen taistelutilan malli operatiivisen suunnittelun vaihtoehtojen tarkasteluun ja sotapelaamiseen.</p> <p>Merellisen taistelutilan malli on tietokoneohjelma, joka kykenee mallintamaan ja simuloimaan muun muassa:</p> <ul style="list-style-type: none">- taistelutilan maaston ja merenpohjan muodot sekä kulkuväylät- sääolosuhteet- ohjus- ja tykistöaseet, sekä niiden käytön- miinasodankäynnin asejärjestelmät, sekä niiden käytön- joukkojen liikkeen taistelutilassa- tutkavalvonta ja maalinosoitus järjestelmät- elektronisen sodankäynnin järjestelmät- vedenalaisen valvonnan järjestelmät

Skenario

Skenariossa on kaksi osapuolta Sininen ja Punainen. Skenario sijoittuu kuvitteelliseen toimintaympäristöön, joka on olosuhteiltaan Suomenlahden kaltainen. Skenaarion lähtökohtana on Punaisen alueellisen laivaston suorittama maihinnousu Sinisen osapuolen hallussa olevalle rantamaalle. Punainen toimii skenaariossa hyökkäävänä osapuolena, ja sen tavoitteena on toteuttaa menestyksenkäs maihinnousuoperaatio. Sininen toimii skenaariossa puolustavana osapuolena ja sen tavoitteena on torjua Punaisen osapuolen maihinnousu. Punainen osapuoli noudattaa suurvaltalaivaston mukaista maihinnousutaktiikkaa.

OSAPUOLTEN SUORITUSKYVYT	
Sinisen merivoimat: 8 x ohjusvene 3 x miinantorjuntalaivue 2 x miinalaiva 3 x miinalautta 2 x rannikkojääkäripataljoona 6 x erillinen rannikkojääkärikomppania 2 x rannikko-ohjuskomppania 4 x meritörjuntäohjuspatteri 4 x kiinteä rannikkotykistöyksikkö 8 x liikkuva rannikkotykistöyksikkö	Punaisen alueellinen laivasto 2 x hyökkäyssukellusvene 2 x hävittäjä 2 x fregatti 8 x ohjuskorveti 6 x sukellusveneentorjunta-alus 8 x ohjusvene 12 x miinanraivaaja 4 x suuri maihinnousualus 7 x pieni maihinnousualus 2 x maihinnousuilmatyynyalus 5 x raskas ro-ro alus (maihinnousun II porras)



Skenaario on tarkoituksella laadittu väljäksi, koska sen on tarkoitus toimia **viitekehystenä** ja **mittakaavana** esittämillesi kysymyksille.

VASTAUSLOMAKE

Vastausohjeet:

Tutkimus on suojaustasoltaan julkinen. Mallin antaman informaation suojaustaso muuttuu korkeammaksi vasta silloin, kun mallissa käytetään todellisia suorituskkyarvoja ja mallinnuksen kohteena ovat todelliset operatiiviset suunnitelmat. Esitetyt kysymykset voivat kuitenkin olla samankaltaisia sekä kuvitteellisessa että todellisessa tilanteessa.

Pyri löytämään sellaisia ongelmia, joiden vastukset ovat tähän asti perustuneet operatiivisen suunnitteluryhmän "valistuneisiin arvauksiin". Nyt käytössäsi on malli, joka kykenee tuottamaan kvantitatiivisia perusteita päätöksenteon tueksi.

Pyri pysyttelemään puolustushaaratason operaatioon liittyvissä kysymyksissä.

Älä tarkastele skenaariota liian tarkasti, vaan mieti maihinnoususotatoimea ja sen vaihtoehtoja yleisesti.

Odotan saavani noin 3–5 (enintään 10) kysymystä jokaiselta asiantuntijalta.

Muotoile vastauksesi kysymysmuotoon, esimerkiksi:

- *Mihin Punaisen suorituskkyyn vaikuttamalla saadaan paras hyötysuhde?*
- *Kumpi on maihinnousun torjunnan kannalta tärkeämpää, miinoitteiden raivauksen esittäminen vai maihinnousualuksiin vaikuttaminen?*
- *Voidaanko Punaisen operaatio torjua ilman suorituskkyä "A"?*
- *Kuinka suuret tappiot johtavat Punaisen operaation kulminaatioon?*

MITÄ KYSYMYKSIÄ HALUAT RATKAISTA MERELLISEN TAISTELUTILAN MALLIN AVULLA?
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.

Pyydän palauttamaan kyselyn sähköpostilla maanantaihin **20.4.2015** klo 1600 mennessä osoitteeseen konsta.teittinen@mil.fi

Kiitos paljon ajastasi.

Kapteeniluutnantti Konsta Teittinen

Yleisesikuntaupseerikurssi 57

050 55 66 782

MITÄ KYSYMYKSIÄ HALUAT RATKAISTA MERELLISEN TAISTELUTILAN MALLIN AVULLA?
Estääkö punaisen CCC-alusten lamauttaminen punaisen maihinnousuoperaation?
Kuinka kauan ilmarynnäköpataljoona voi toimia ahdistettuna ilman yhteyttä pääjoukkoon?
Kuinka kauan ja millä resursseilla ilmavoimat voi ylläpitää ajallista ja paikallista ilmaherruutta?
Kuinka suuret tappiot johtavat Punaisen operaation kulminaatioon? (ja mitkä punaisen alustyyppit nousevat siniselle "korkean hyötysuhteen maaleiksi" (high payoff targets)?)
Kumpi on maihinnousun torjunnan kannalta tärkeämpää, miinoitteiden raivauksen estäminen vai maihinnousualuksiin vaikuttaminen?
Mihin Punaisen suorituskykyyn vaikuttamalla saadaan paras hyötysuhde?
Mihin TSTOS(OP) vastahyökkäys kannattaa tehdä? (esim. saaristossa vai rannalla)
Mikä olisi juuri tässä skenaariossa "optimoitu" ryhmitys sinisen miinoitteille ja ohjusyksi köille, huomioiden maasto ja skenaario, sekä erityisesti tasapaino "kantan ja suojan" välillä ("ohjussyksiköiden etu- ja takapesät")? = mikä on vastustajan "odottama" ryhmitys?
Mikä on oman johtamisjärjestelmän (VHF, HF kenttäradiot, ohjelmistoradiot, UHF-linkit) toimintakyky toiminta-alueella (minkälaisiin yhteysetäisyyksiin päästään lähetystehot ja maastonmuodot huomioiden)
Mikä on oman johtamisjärjestelmän (VHF, HF kenttäradiot, ohjelmistoradiot, UHF-linkit) häiriönsietokyky toiminta-alueella vastustajan elektronisen vaikuttamisen alla?
Mikä on paras tapa väistää vihollisen häirintä (ELSO) ja säilyttää tilannekuva? (sensoriryhmitys)
Mikä on rannikko-ohjussyksiköiden ensisijainen maali, mhn-alukset vai RO-RO alukset?
Mikä tulenkäytön prioriteetti on optimaalisin maihinnousuoperaation eri vaiheissa? (maalien priorisointi)
Millainen on vastustajan eri alustyyppien tappionsietokyky?
Millaisella sensoriryhmityksellä / -määrällä kyetään vielä tulenkäytön mahdollista-vaan tilannekuvan luontiin?
Millä todennäköisyydellä toiminta-alueen paikallisinfrastruktuuri (sähköverkko, tietoliikenneverkot) on hyödynnettävissä omaan operaatioon? (taistelunkestävyys)
Missä saadaan paras paikallisten joukkojen omasuoja? mihin kannatta ryhmittää torjunta-osia parhaimman suojan saamiseksi (linnoitettavuus, maastouttaminen)?
Missä SUVE:lla voi operoida ja mihin SUVE:n asevaikutus ulottuu?
Miten lasketut miinoitteet vaikuttavat maihinnousuosaston liikkeisiin?
Miten omien (merijalkaväen) joukkojen liike hidastuu kelirikon ja jääpeitteen aikana? (ajoneuvot ja veneet) vs. tiestö ja väylästä.
Miten optimoidaan sinisen taistelualusten (pintatorjunta, OHTU, SUTO) käyttö maihinnousun torjunnassa -> hyötysuhde vs muut mahdolliset käynnissä olevat tehtävät -> mahdolliset rajoitteet toiminta-alueeseen.
Miten optimoidaan sinisen taistelualusten käyttö ennakoitua nopeammassa tilannekehityksessä maihinnousun torjuntaan liittyen -> normaaliolojen tilanne, miten saadaan paras hyötysuhde taistelualusten käytöstä OHTU, MITO, SUTO, merimiinoittaminen, kun rannikkojoukkoja ei ole perustettu.
Miten sää / häirintä / valaistusolosuhteet vaikuttavat puolustajan valvontakykyyn?

MITÄ KYSYMYKSIÄ HALUAT RATKAISTA MERELLISEN TAISTELUTILAN MALLIN AVULLA?
Mitkä ovat punaisen maihinnousun kannalta todennäköisimmät alueet (käytettävissä olevalla kalustolla). -> Miinantorjuntalaivueen käyttö pohjankartoituksessa -> Sinisen merimiinoittamisen optimointi.
Mitkä ovat reunaehdot (vaatimukset / rajoitukset) merellä purkamiseen?
Mitkä ovat Sukellusveneiden toimintaedellytykset rannikon läheisyydessä? <ul style="list-style-type: none">- Miinoituskyky- Torpedojen käyttöalue- Siirtymiskyky
Mitkä ovat sääolosuhteiden vaikutukset punaisen maihinnousuun (käytettävissä olevalla kalustolla). Minkälaiset olosuhteet rajoittavat / estävät punaisen maihinnousun.
Mitkä tekijät estävät puolustajan suojamiinoittamisen?
Mitä vaihtoehtoisia väyliä / siirtymisreittejä (väylästön ulkopuolella) maihinnou-suosasto voi käyttää?
Onko ohjusammunnassa oikea periaate lähestyä salvolla yhdestä vai useammasta suunnasta?
Ovatko tykistöyksiköt toimintakuntoisia mhn-nousun alkaessa, kiinteä vrs liikkuva? Kumpaa asejärjestelmää tulee tulevaisuudessa ylläpitää?
Punaisen ilmatoiminnan ulottuvuudet (missä lastissa kuinka kauas tai miten pitkään)
Puuttuuko rannikkojääkäripataljoonilta kriittistä suorituskkyä Punaisen maihin nousseen panssaroidun kärjen pysäyttämiseksi? Ohjuskalusto? RO-yksiköillä sitä ei tehdä.
Riittääkö puolustajan suorituskky torjua maihinnousu kahdessa suunnassa?
Riittääkö vastustajan suorituskky uskottavaan harhautukseen ja maihinnousuun?
RPR MOS kyvyn kulminaatio sensorien asteittaisen tuhoutumisen aikana
Saariston hallintaan liittyvä näkemäanalyysi. Esimerkiksi millä väyläosuuksilla ei havaita miinapudotuksia eri ryhmyksillä eri näkyvyysolosuhteissa
Suve torpedouhka-alueet mistä voidaan ampua ja minne voidaan am-pua.Tuloksena turvalliset aluet, jonne vastustaja ei pysty tietyssä aikaikkunassa ampumaan.
Sään vaikutuksen MN osaston purkutoimenpiteile (aallokko/tuulensuunta joka es-tää)
Voidaanko harhauttamalla (Sinisen esim. valelaitteet ja spektrin käyttö (radi-ot/tutkat)) luoda painopiste Punaisen mhn-nousulle? Mhn-nousun toteuttaminen puolustajalle edulliselle alueelle.
Voidaanko Punaisen operaatio torjua ilman suorituskkyä "A"?